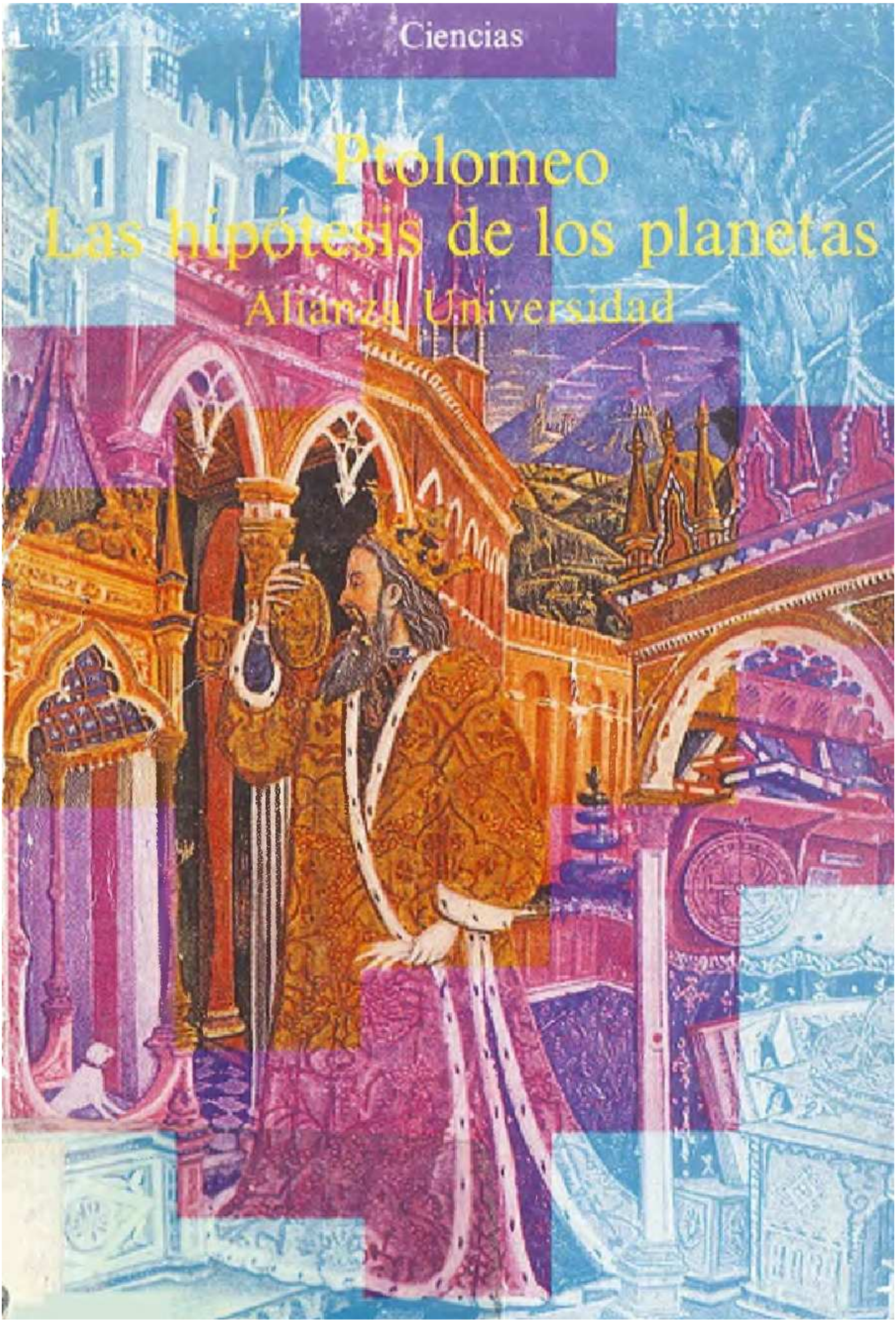
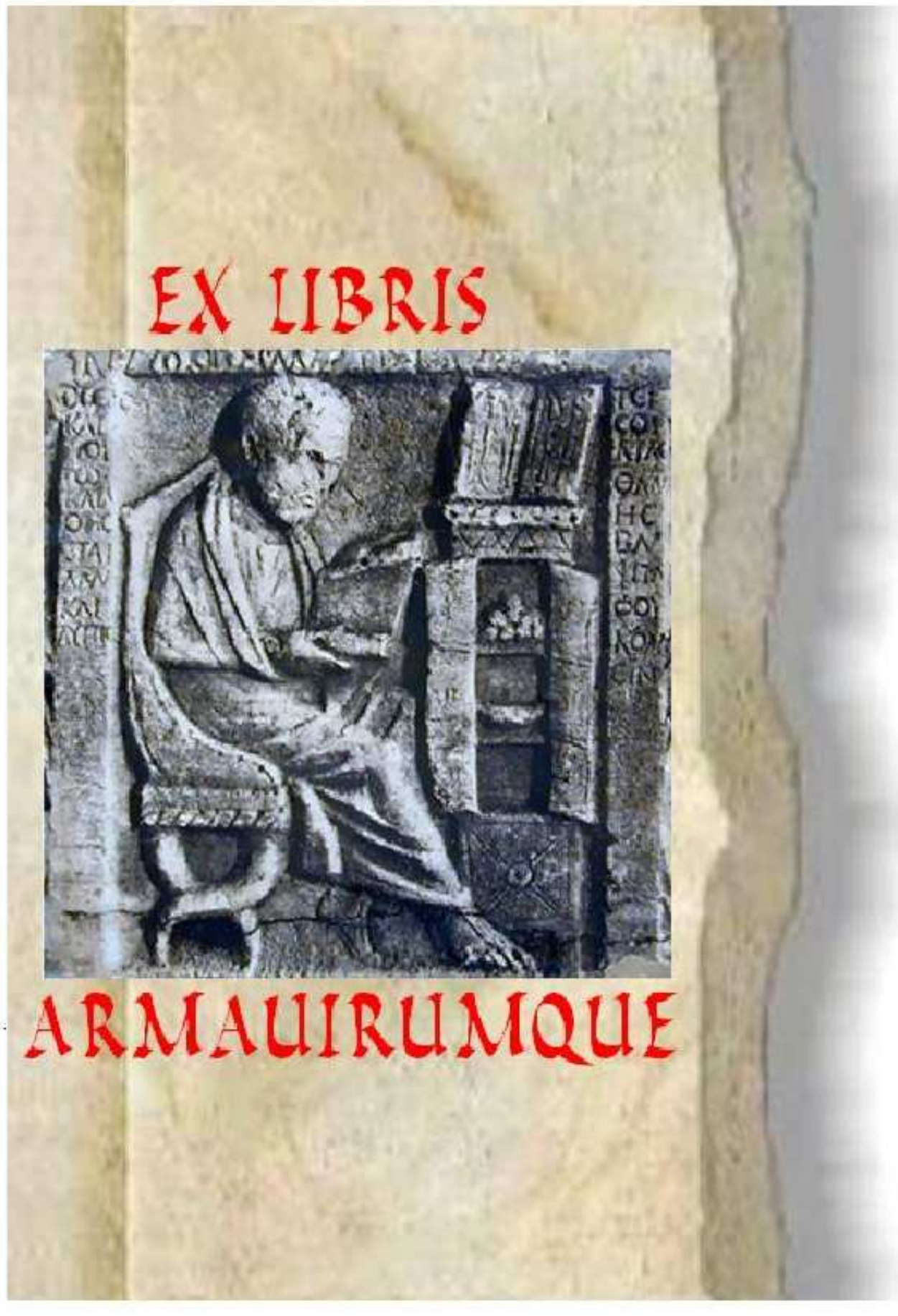
Ciencias

Ptolomeo
Las hipótesis de los planetas

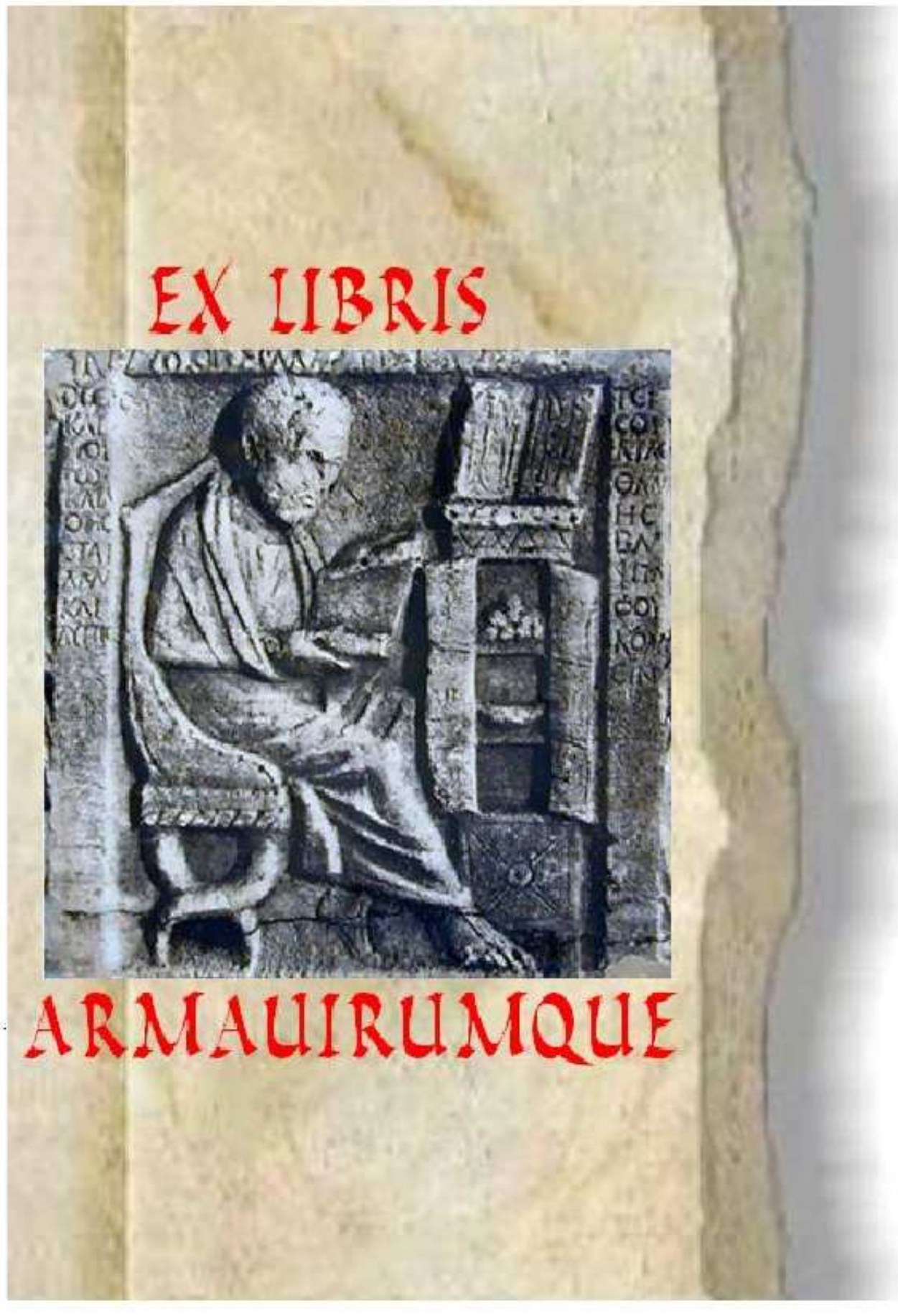
Alianza Universidad



Alianza Universidad



Alianza Universidad



Claudio Ptolomeo

Las hipótesis de los planetas

Introducción y notas de
Eulalia Pérez Sedeño

Alianza
Editorial

Traducción del griego: José García Blanco
Traducción del árabe: Aurora Cano Ledesma

© Introducción y notas: Eulalia Pérez Sedeño
© Alianza Editorial, S. A., Madrid 1987
Calle Milán, 38, 28043 Madrid; teléf. 200 00 45
ISBN: 84-206-2498-5
Depósito legal: M. 17.737-1987
Compuesto en Fernández Ciudad, S. L.
Impreso en Lavel. Los Llanos, nave 6. Humanes (Madrid)

INDICE

Introducción 9

Astronomía matemática *versus* astronomía física 17

La astronomía matemática de Ptolomeo 22

La astronomía física de Ptolomeo 35

Las hipótesis de los planetas

Libro primero

Parte I 57

Parte II 77

Libro segundo 91

INTRODUCCION

El caso de Claudio Ptolomeo (siglo II) es uno de los más curiosos de la historia de la ciencia griega. La mayoría de su obras, al menos las más importantes, han llegado al mundo moderno y contemporáneo incólumes. Sus tratados, en especial los de óptica, astronomía y astrología, se convirtieron en obras básicas para todo aquél que quisiera dedicarse al estudio de estas disciplinas. Por ejemplo, Copérnico, que revolucionó la astronomía en el siglo XVI, poniendo en cuestión dos de los principios fundamentales de la teoría ptolemaica, el geocentrismo y el geoestatismo, moldeó su *De revolutionibus* sobre el gran tratado astronómico de Ptolomeo, la *Sintaxis Mathematica* o *Almagesto*.

A pesar de que disponemos de varias obras escritas por Ptolomeo sobre diversas materias, es poco, por no decir nada, lo que sabemos de su vida. Son numerosas las anécdotas y las informaciones de que disponemos acerca de dónde, cómo y cuándo nacieron y vivieron otros autores griegos, de los que apenas nos ha llegado alguno de sus escritos. Pero, por lo que se refiere a Ptolomeo, no sólo la fecha de su nacimiento es incierta, sino hasta el lugar donde trabajó.

No obstante, a partir de ciertos datos que aparecen en sus obras y en comentarios posteriores a ellas, podemos establecer que traba-

jó en Alejandría y que vivió aproximadamente del año 100 al 170. Vivir en esta ciudad debió ser sin duda alguna muy beneficioso para Ptolomeo. Es cierto que en la época en que éste vivió Alejandría ya no estaba en su momento de máximo esplendor, pero seguía siendo un centro cultural importante.

Alejandría había sido fundada hacia el año 331 a. n. e. tras la conquista de Egipto por Alejandro Magno. A la muerte de éste, ocurrida a los treinta y tres años de edad en el 323 a. n. e., y después de una serie de luchas internas entre los herederos de Alejandro, uno de sus generales, Ptolomeo Sotero, se quedó con Egipto y tomó el título de rey, fundando la dinastía de los ptolomeos. En ocasiones se ha presentado a Claudio Ptolomeo como descendiente de la dinastía real y se le ha representado en la iconografía medieval con atributos reales. Nada de esto es cierto. Su nombre, *Claudios,* es griego, aunque podría indicar que poseía la ciudadanía romana. *Ptolomeo* apunta a su procedencia greco-egipcia, esto es, a que provenía de alguna de las ciudades fundadas por los griegos que colonizaron Egipto, tal vez de Ptolemais Hermiou. Los reyes de la dinastía de los ptolomeos agrandaron y enriquecieron la ciudad alrededor de la tumba de Alejandro, cuyo cuerpo, al parecer, había obtenido Ptolomeo I con pocos escrúpulos y todo tipo de argucias y engaños. Alrededor del sepulcro, los reyes de Egipto se esforzaron por crear una ciudad rica, brillante, cosmopolita, en la que la lengua oficial, así como la culta, era el griego, integrándose plenamente en la tradición cultural helena.

Los reyes de la dinastía ptolemaica —a la que pertenece la famosa Cleopatra y de la que es su último representante— consiguieron hacer de Egipto uno de los reinos helenísticos más florecientes y ricos gracias a su situación geográfica y a la fertilidad del suelo que le confería una gran riqueza agrícola. Pero también debido a su organización económica, que había seguido la vieja tradición egipcia: la administración estaba en manos de una burocracia bien organizada que se ocupaba de asegurar los ingresos de la corona y explotar al máximo el país, que en su conjunto era propiedad real.

No es raro, pues, que la riqueza de Egipto atrajera a multitud de extranjeros que incorporaron deseos y necesidad de aumentar la

productividad; no es de extrañar tampoco que, de ese modo, floreciera en Alejandría, la capital, una importante escuela de ingeniería, ni que la arquitectura también tuviera un desarrollo importante. Una ciudad nueva tenía necesidad de modernas construcciones. Y Ptolomeo I, ambicionando convertir Alejandría en una de las más grandes ciudades del mundo, encargó su trazado a Dinócrates de Rodas, el mejor arquitecto de su tiempo. Y también trabajó allí el famoso Sóstrato de Cnido, constructor de la torre de la isla de Faros, una de las siete maravillas del mundo, que dio nombre a todos los faros posteriores.

La ingeniería y la arquitectura no fueron las únicas disciplinas que florecieron en Alejandría. La cultura tomó en esta ciudad un cariz marcadamente científico y literato, aunque poco filosófico. Y eso por dos razones. En primer lugar, una ciudad rica y con pretensiones tenía que ver en la ciencia una forma de obtener beneficios, amén de prestigio y fama. En segundo lugar, por el carácter aristotélico de una de las dos instituciones culturales más importantes de Alejandría y del mundo antiguo: el Museo.

El Museo de Alejandría, que recibió su nombre por estar dedicado a las musas, era en realidad un centro de investigación en el que se cultivaba la música, la historia o la astronomía, entre otras muchas materias. Su creación se debe a Ptolomeo I (366 ó 364-282 a. n. e.), aunque fue terminado y ampliado por su hijo Ptolomeo II (308-246 a. n. e.). El primero de los ptolomeos fue discípulo de Aristóteles, como Alejandro Magno. Y a quién llamar para ocuparse de la educación de su hijo y heredero mejor que a uno de los principales discípulos de su maestro. Así, contrató a Estratón como tutor del futuro rey y fue él quien ideó el Museo a semejanza del Liceo de Atenas, aunque a gran escala y financiado por el Estado. Esta institución disponía de un zoológico, jardín botánico, observatorio astronómico, salas de disección y estudio, etc. Pero también debía haber en él salas de reunión y discusión, así como comedores y dormitorios para los discípulos y profesores que acogía. Se cuenta que el rey llegó a mantener a unos cien estudiosos. Y puesto que también era un lugar donde se impartía enseñanza, no sólo se investigaba, era una especie de universidad estatal del mundo antiguo.

El Museo de Alejandría no sólo disponía de los medios necesarios para el desarrollo de la investigación en el terreno de la astronomía, la zoología o la botánica. Los reyes egipcios disponían de suficientes recursos económicos para llevar al Museo a los mejores estudiosos, con lo que se produjo un flujo de cerebros hacia Alejandría semejante al que se produce en nuestro siglo hacia ciertos países. No es de extrañar, pues, que en Alejandría, vinculados o no al Museo, pero atraídos por su prestigio, se formaran o trabajaran ingenieros como Ctesibio (285-222 a. n. e. aproximadamente) o Herón de Alejandría (100 a. n. e.); matemáticos como Euclides (323-285 a. n. e.); Apolonio de Perga (*fl.* 220 a. n. e.), que escribiera uno de los primeros tratados sobre secciones cónicas; geógrafos como Eratóstenes de Cirene (284-192 a. n. e.), que calculara el diámetro terrestre, y director de la Biblioteca, íntimamente vinculada al Museo. En esta ciudad efectuaron sus observaciones estelares Arístilos (300 a. n. e.) y Timocaris (siglo III a. n. e.), así como Aristarco de Samos (250 a. n. e.), defensor de un cierto heliocentrismo. También las ciencias de la vida se desarrollaron a la sombra del Museo, legando a la posteridad obras como los minuciosos estudios anatómicos del cuerpo humano realizados por Herófilo de Calcedonia (323-285 a. n. e.), y Trasístrato de Cníos (300-250 a. n. e.).

También la historia y la filología florecieron en Alejandría. Pero su evolución y desarrollo están más vinculados a la otra gran institución cultural de la ciudad: la Biblioteca. Fundada asimismo por Ptolomeo I, se cuenta que su núcleo original fue la biblioteca privada de Aristóteles. En ella, al parecer, se llegaron a conservar unas 400.000 obras. No encontramos en la antigüedad una biblioteca semejante salvo, tal vez, la mítica Biblioteca de Asurbanipal, en Mesopotamia, destruida en el 612 a. n. e., cuando Nínive fue arrasada. Pasarían muchos años hasta que volvieran a crearse grandes colecciones de obras, en concreto la formación de la Biblioteca de Bagdad y la de Alhakam en Córdoba, en la segunda mitad del siglo X.

El hecho de reunir y mantener en buen estado y en un mismo lugar tal cantidad de volúmenes (de «rollos» deberíamos decir, pues no olvidemos que no existían los libros en su forma actual, sino que los autores escribían sus ideas en papiros que se iban enrollando)

tiene una importancia capital. No se olvide que las obras se escribían a mano y que, por lo general, tan sólo se hacían de ellas como mucho unos pocos ejemplares. A eso se deben dos hechos que han marcado la cultura griega: por un lado, dicha cultura había adquirido un cariz oral, lo que contribuía a una menor difusión de las ideas de los científicos o filósofos y a que esa difusión raras veces se llevara a cabo con absoluta fidelidad; por otro, la falta de ejemplares hizo que las obras de muchos autores desaparecieran rápidamente. En la época de la fundación de la Biblioteca de Alejandría eso ya había sucedido en numerosos casos.

Estas observaciones pueden dar una idea de la importancia de la Biblioteca. No sólo contribuyó a preservar un sinfín de obras para la posteridad, sino que también fueron numerosos los estudiosos que pudieron acceder a trabajos que de otro modo habrían quedado fuera de su alcance. Pero ésa no fue la única misión de la Biblioteca de Alejandría. En muchos casos, los bibliotecarios eran autéticos «editores» de muchas obras, pues debían ordenar los rollos, establecer los textos, etc. Y los historiadores tenían ante sí toda una serie de obras y documentos que podían consultar (el primer historiador que trabajó en la biblioteca fue el propio fundador, Ptolomeo I, quien escribió una historia de las campañas de Alejandro, hoy perdida).

En la época de Claudio Ptolomeo la Biblioteca había sufrido diversos avatares como, por ejemplo, el incendio acaecido en el año 48 a. n. e. durante la guerra alejandrina, en la que César incendió la flota egipcia anclada en el puerto de Alejandría. Y, por lo que se refiere al Museo, los gobernantes egipcios no parecían tener tanto interés como sus predecesores en mantenerlo como una institución cultural del máximo prestigio. El 3 de agosto del año 30 a. n. e. Octavio había tomado Alejandría y, con el suicidio de Cleopatra y asesinato de su hijo Cesarión, Egipto dejó de ser un reino independiente para convertirse en parte del Imperio Romano. Sin embargo, aunque bajo dominio romano Alejandría ya no reunía la flor y nata de la intelectualidad, como había sucedido bajo el mecenazgo de los Ptolomeos, no dejó de ser una gran capital. En el siglo II en el que vivió Ptolomeo, incluso llegó a obtener una cierta independencia y pros-

peridad al servir de base al comercio del Imperio con Etiopía y el Africa Oriental.

Los emperadores romanos bajo cuyo mandato vivió Claudio Ptolomeo estaban más interesados en asegurar la *Pax Romana* y reestructurar la administración que en patrocinar estudios teóricos o subvencionar a estudiosos en Alejandría. Pero el Museo y la Biblioteca seguían siendo centros importantes. Continuaron siéndolo hasta que en el año 389 una horda de cristianos enfurecidos arrasara la Biblioteca y en el 680 le sucediera lo mismo al Museo *gracias a* los musulmanes.

Ptolomeo vivió bajo la época de los hispanos Trajano (nacido en Itálica, hoy Sevilla) y Adriano, de Antonino Pío, que gobernó del año 138 al 161, y de Marco Aurelio, denominado el *emperador filósofo* (en el poder del 161 al 180). En esta época, y a pesar de que los romanos llevaban más de un siglo de dominio sobre Egipto, el griego seguía siendo la lengua culta en Alejandría: ésta era la de la filosofía y de la ciencia, aunque el latín lo era de la administración y el derecho. (Ese fenómeno no se daba sólo en Alejandría, pues no hay que olvidar que Adriano era gran admirador de la cultura griega y que Marco Aurelio escribió sus *Soliloquios* en la lengua de Homero.)

Así, pues, la tradición cultural griega seguía viva en Alejandría, teniendo en esa ciudad uno de sus centros más importantes. Aunque no sabemos con absoluta seguridad si Ptolomeo era uno de los investigadores del Museo, por lo menos debió tener acceso a las obras que guardaba la Biblioteca, como demuestran las numerosas citas que aparecen a lo largo de sus escritos. Éstas abarcan prácticamente todos los campos.

Ptolomeo no sólo se ocupó de astronomía. Por ejemplo, escribió una *Geografía,* en la que intentaba representar y describir el mundo. Desgraciadamente, en esa época sólo se conocía con cierta precisión el Imperio Romano, por lo que las conquistas islámicas pronto dejaron obsoleta esta obra. En su *Optica,* de la que sólo nos ha llegado parcialmente la versión árabe, Ptolomeo intentó dar una teoría general de la visión, de la luz y del color, así como de una serie de fenómenos relacionados con ellos (reflexión, refracción, etc.). Por lo

que se refiere a la música, en su *Harmonica* intentó, como en otras disciplinas, ofrecer una teoría que diera cuenta de los hechos, pero que también fuera matemáticamente satisfactoria.

Pero sin duda alguna Ptolomeo es conocido fundamentalmente por sus trabajos en astronomía. Su *Sintaxis Mathematica,* o *Almagesto,* como se denominó en el mundo islámico, fue el tratado en el que por primera vez se presentó una teoría coherente, completa y con poder predictivo de la Luna, el Sol y los planetas. Como el *Almagesto* es la primera de sus obras principales, es de suponer que en muchos casos las otras fueran intentos de desarrollar cuestiones que en la *Sintaxis* no lo habían sido satisfactoriamente. Así, en su *Fases de las estrellas fijas* se ocupó de la manera de determinar lo más precisamente posible las salidas y puestas estelares, poniéndolas en relación con determinadas predicciones meteorológicas, entroncando, pues, con la antiquísima tradición *parapegmatista* (o calendárica) griega. El *Analemma,* una obra de matemática aplicada a la astronomía, explica el método para hallar los ángulos al construir relojes de sol. Y el *Planisferio,* obra del mismo carácter, se ocupa del problema de la proyección en un plano de los círculos de la esfera celeste. También escribió el *Tetrabiblos,* libro en el que Ptolomeo intentó dar un fundamento científico a la astrología. Y, por supuesto, también en *Las hipótesis de los planetas* trató más detalladamente ciertas cuestiones astronómicas.

La historia de *Las hipótesis de los planetas* es una de las más curiosas e interesantes sobre el decurso y destino de una obra de la antigüedad. Durante mucho tiempo se adscribió a Ptolomeo la representación del mundo que dominó en Occidente durante la Edad Media y hasta el siglo XVII. Según el sistema ptolemaico, el universo es un conjunto de esferas metidas unas dentro de otras, al modo de esas muñecas rusas que van encajadas entre sí. La esfera externa es la de las estrellas fijas, dentro de la cual va la de Saturno, en cuyo interior está la de Júpiter, luego la de Marte, después las del Sol, Venus, Mercurio, la Luna y por último, y en el centro de todas ellas, se encuentra la Tierra, inmóvil. Sin embargo, si se examinan las obras sobre astronomía de Ptolomeo, y en especial el *Almagesto,* en el

que se expone la teoría ptolemaica acerca de los movimientos de los cuerpos celestes, no aparece en absoluto una representación tal del universo. Solamente en una obra de Proclo (412-485) se mencionaba el origen griego de este sistema, pero sin citar a Ptolomeo.

Sin embargo, el historiador Willy Hartner observó en un artículo aparecido en 1964 [1] que diversos autores árabes hacían referencia a una misteriosa obra de Ptolomeo denominada *Kitāb al-Manṣḫurāt,* en la que su autor daba valores concretos de los tamaños, disposición y distancias de los planetas. Hartner llegó a la conclusión de que dicha obra no podía ser otra que *Las hipótesis de los planetas,* cuyo título en árabe era *Kitāb al-Iqtiṣāṣ,* «la única que trata exclusivamente de la estructura física del universo» (*loc. cit.,* p. 278) con anterioridad a Proclo. Sin embargo, y como señalaba este autor, en la edición disponible de las *Hipótesis* no aparecía nada de lo anteriormente dicho ni valores numéricos ni tampoco las tablas mencionadas al final de la obra. Así, pues, Hartner concluyó también que el texto editado debía ser tan sólo una parte y abogaba por una búsqueda de manuscritos griegos y árabes en las bibliotecas europeas y orientales con el fin de hallar lo que él consideraba debía ser parte del libro II de las *Hipótesis.* ¿Qué había sucedido con esa parte de la obra? ¿Se había perdido para siempre? ¿O estaba tal vez equivocado Hartner y nunca existió?

Las hipótesis de los planetas habían sido incluidas en las *Opera Minora* de Claudio Ptolomeo, editadas por H. L. Heiberg en 1907. En dicha edición aparece el texto griego de lo que se suponía era el libro I y una traducción alemana de la versión árabe de los libros I y II (este último sólo ha llegado en esta lengua). El propio Heiberg informa en su introducción que encargó a L. Nix la traducción al alemán de los manuscritos árabes que se encuentran en el Museo Británico de Londres y en la Biblioteca de Leyden, pero que habiendo muerto mientras efectuaba dicho trabajo, había sido completado y revisado por Buhl y Heegaard.

---

[1] W. Hartner, 1964: «Mediaeval views on cosmics dimensions and Ptolemy's *Kitāb al-Manṣḫurāt*», en I. B. Cohen y R. Taton (eds.), *Melanges Alexander Koyré,* París, Hermann, vol. I, pp. 254-288.

Tras leer el artículo de Hartner, el historiador americano Bernard Goldstein [2] decidió hacer indagaciones por su cuenta y buscar otros manuscritos de las *Hipótesis* que no se hubieran utilizado en su edición. Consultó un manuscrito hebreo y *al final del libro I* (no en el II, como presumía Hartner) encontró una parte dedicada a las distancias y tamaños de los planetas. Goldstein pensó que era extraño «que el nuevo pasaje estuviera en medio de la versión ya publicada, en vez de al final, como era de esperar, pero los manuscritos árabes confirmaron la versión hebrea» (*Goldstein,* 1968, p. 3). ¿Qué había sucedido? Algo muy sencillo. Nix había muerto cuando sólo había realizado la parte del libro I que se corresponde con el texto griego que se había conservado y una primera versión del libro II. Buhl y Heegaard, con una incompetencia y falta de minuciosidad muy distintas de las que creemos típicas en los germanos, pasaron por alto el trozo que hoy se conoce como libro I, parte II. Así, pues, ésta será la primera vez que *Las hipótesis de los planetas* vean la luz impresas de forma completa.

Astronomía matemática versus *astronomía física*

Ptolomeo adoptaba la división del saber, largamente aceptada, en filosofía teórica y práctica. Tal diferenciación era de tradición plenamente aristotélica, aunque Aristóteles añadía otro tipo de saber, el productivo, equivalente más o menos a la técnica, pues es el que está orientado a producir u obtener cosas siguiendo unas ciertas reglas; así, por ejemplo, la arquitectura o la medicina serían casos de ese tipo de episteme. En el *Almagesto,* cuando Ptolomeo habla explícitamente de la división del saber no menciona para nada el productivo, pero en lo demás sigue a rajatabla la clasificación de Aristóteles. Así, pues, la filosofía práctica no produce ningún objeto externo a ella, sino que es ella misma el fin. Según Ptolomeo, la diferenciación en-

[2] Goldstein publicó sus resultados en «The Arabic version of Ptolemy's *Planetary hypotheses*», *Transactions of the American Philosophical Society,* new Series, vol. LVII, núm. 4, 1965, pp. 1-55. Hay una buena traducción latina de la parte I del libro I de las *Hipótesis* realizada en 1620

tre este tipo de saber y el teórico es fundamental: se puede tener un saber práctico sin haber tenido ninguna educación especializada (un hombre puede tener una gran perspicacia moral sin haber estudiado ética), pero eso es imposible en el caso de la filosofía teórica.

Desde luego, lo que le interesa a Ptolomeo es el conocimiento teórico, esto es, la ciencia, pues en ese campo desarrolló su actividad. El saber teórico se divide en tres ramas: la teología, la matemática y la física. La teología, filosofía en la que se da el máximo grado de abstracción, no se ocupa de la realidad perceptible, sino de cosas inmateriales tales como el ser, la existencia, la causa, etc. Los sentidos no pueden analizar el mundo real en los movimientos, formas y materias puras que lo componen. Sólo la razón puede separarlos y mostrar que hay una causa primera o primer motor que produce todo cambio natural, en último término. Pero debido a la naturaleza de su objeto, que no es ni fenoménico ni alcanzable, la teología es conjetura más que conocimiento.

La física es la filosofía teórica que posee un menor grado de abstracción. La ciencia natural, como también la denomina Ptolomeo (o filosofía natural, como se la denominó hasta hace bien poco), estudia el mundo material, la naturaleza siempre en cambio; se ocupa de cualidades tales como 'frío', 'caliente', 'dulce', etc., que no pueden existir separadamente de las cosas (objetos que, por cierto, se encuentran en el mundo sublunar, esto es, en la parte del universo que hay debajo de la esfera de la Luna). Dicho en términos aristotélicos, la física trata de la naturaleza en movimiento o cambio, lo cual implica que el objeto de dicha filosofía son cosas materiales sujetas a corrupción y generación. Su naturaleza, pues, es inestable y oscura y no resulta extraño que los filósofos no se pongan de acuerdo con respecto a ella.

La matemática se encuentra entre la teología y la física, por lo que al grado de abstracción se refiere. Se divide en aritmética, geometría y astronomía. Las matemáticas «determinan la naturaleza implicada en formas y movimientos de lugar en lugar y... sirve para investigar forma, número, tamaño y lugar, tiempo y cosas semejantes» (*Almagesto,* I, 1). Esto es, la matemática investiga la naturaleza de las formas y movimientos que poseen los cuerpos materiales. Ese

estudio conlleva el uso de nociones tales como forma, magnitud, espacio o tiempo, pero abstrayéndolas de los cuerpos físicos que son quienes poseen esas cualidades. Así, pues, la matemática no sólo se encuentra entre la física y la teología, por lo que al grado de abstracción se refiere, sino que además participa de cualidades que ambas poseen: por un lado, su objeto puede ser concebido con o sin ayuda de los sentidos; por otro, «es un atributo de todas las cosas existentes sin excepción, tanto mortales como inmortales: con respecto a esas cosas que están perpetuamente en cambio en su forma inseparable, cambia con ellas, mientras que por lo que se refiere a las cosas eternas, que tienen una naturaleza etérea, mantiene sin cambio su forma no cambiante» (*Almagesto,* I, 1). Sólo la matemática puede proporcionar conocimiento seguro e imperturbable, pues procede con métodos rigurosos e indiscutibles, a saber, la aritmética y la geometría.

Hasta aquí hemos expuesto las ideas generales acerca de los distintos tipos de saber o filosofía. Pero la astronomía, en concreto, tiene un carácter especial. Por un lado, está claro que forma parte de la matemática: se ocupa de las cosas divinas y celestes, de investigar lo que no cambia nunca, esto es, el mundo supralunar en el que no hay ni generación ni corrupción. Por esa razón también la astronomía «puede ser eterna e invariable en su propio dominio, que ni es oscuro ni desordenado» (*Almagesto,* I, 1). Esto es, en ese sentido, el objeto de la astronomía pertenece al ámbito de lo inteligible más que de lo sensible, al contrario de lo que sucede con la física o la filosofía natural en general. El mundo celeste está formado por cuerpos cuya naturaleza no es material, sino etérea, está formado de la quinta esencia; debido a esa naturaleza divina y eterna, tendrá que estar gobernado por las leyes racionales, no de naturaleza sensible [3].

[3] Naturalmente, los matemáticos que hacían astronomía estaban sometidos a unos ciertos principios físicos, pero sin que fuera de su competencia cuestionarlos. Dichos principios tan sólo delimitan el marco en el que se ha de desarrollar la investigación astronómica, a la hora de realizar la cual no habría consideraciones físicas.

Toda esta concepción de la astronomía como filosofía que se ocupa de objetos inmateriales viene, sin duda, avalada por ciertas características de su objeto: tal y como se puede apreciar desde la Tierra, el universo es una *esfera* y los cuerpos que en él hay pueden reducirse —y de hecho se reducen para su estudio— a meros puntos en esa esfera. Los problemas astronómicos han consistido, desde un principio, en la determinación de las trayectorias que seguían esos puntos o su posición en la esfera celeste, fundamentalmente para establecer patrones temporales de variada utilidad. Esas características permiten tal geometrización que hasta el descubrimiento de los archivos astronómicos de Uruk y Babilonia en Mesopotamia, a principios de siglo, se consideró una etapa necesaria y una condición indispensable para el desarrollo de dicha disciplina. Pero la geometrización comporta otros, llamémosles, peligros. Hace muy factible una representación *real* del modelo ideado. Dicho de otro modo, una construcción geométrica se presta a ser interpretada como un modelo de cómo es el mundo *en realidad,* a ser considerada como un modelo cosmológico, que para un aristotélico quedaría dentro del dominio de la física. Así, pues, podríamos distinguir dos formas de hacer astronomía: por un lado, la *astronomía matemática,* puramente computacional, interesada en resolver los problemas que le plantean los movimientos del Sol, la Luna y los planetas, mediante la elaboración de constructos teóricos que permitan efectuar predicciones correctas; por otro, la *astronomía física,* que estima que esta disciplina se debe ocupar de elaborar cosmologías que describan el mundo tal y como de hecho es, que lo expliquen. Estas dos maneras de hacer astronomía serían simplemente la manifestación de dos programas de investigación distintos: el programa astronómico de Platón dio origen a la primera, mientras que el programa aristotélico produjo la segunda.

Ambas formas de entender la actividad del astrónomo, supuestamente irreconciliables, habrían dado origen en Grecia a dos actitudes opuestas, a dos concepciones filosóficas distintas, acerca del estatus cognoscitivo de las teorías científicas. Brevemente se puede decir que dicha cuestión se reduce a si una teoría es o no un mero aparato conceptual que nos permite organizar nuestra experiencia y efectuar predicciones. Si se considera que una teoría es un instrumento, no

puede ser ni verdadera ni falsa, sino mejor o peor, más o menos útil para el fin para el que ha sido ideada. Los defensores de esta tesis, los *instrumentalistas,* mantienen que, en consecuencia, no hay que comprometerse con la existencia de las entidades postuladas por sus teorías; dicho de otro modo, una teoría puede utilizar todo tipo de artilugios sin que en ningún momento se les tenga que atribuir *realidad física,* en el sentido en que se la atribuimos a este libro o al curso seguido por un planeta, pero no a las hadas o a los epiciclos. Los realistas, en cambio, atribuyen realidad a las entidades postuladas por la teoría; para ellos, éstas no son meros instrumentos de cálculo que permiten efectuar predicciones más o menos acertadas, sino que pretenden explicar cómo es el mundo *de hecho.*

Pues bien, según ciertos filósofos, los seguidores del programa de Platón, ocupados en hacer astronomía matemática, no es que hicieran otro tipo de astronomía, sino que serían instrumentalistas, mientras que los que se adhirieron al de Aristóteles serían realistas, convirtiendo lo que eran dos maneras distintas de enfrentarse a un mismo ámbito de la realidad en una disputa epistemológica [4]. Es más, los matemáticos habrían dejado a un lado todo tipo de consideraciones físicas, se habrían ocupado tan sólo de 'salvar los fenómenos' sin importarles que los métodos para ello empleados violaran los principios físicos más elementales. Ptolomeo sería un ejemplo, hasta el punto de haberse dicho de él: «Hay que distinguir el Ptolomeo *cosmólogo* aristotélico del Ptolomeo astrónomo geocéntrico. Nos encontramos aquí con dos pensadores distintos unidos en la misma persona histórica. El Ptolomeo cosmólogo repetía al pie de la letra las visiones del mundo de la antigüedad al discutir su filosofía del uni-

[4] El máximo defensor de esta tesis es el físico e historiador Pierre Duhem (1861-1916). Dos de sus obras influyeron poderosamente en el desarrollo de la historiografía de la ciencia contemporánea. Nos referimos a las famosas «*Sózein ta phainómena.* Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée», *Annales de Philosophie Chrétienne,* 79, 6.ª serie, vols. 1-2, 1908, y su monumental *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic* (1913-1959, París, Hermann). Sobre estas cuestiones puede ser útil A. Elena (1985): *Las quimeras de los cielos. Aspectos epistemológicos de la revolución copernicana* (Siglo XXI eds., Madrid), donde se bucea en las distintas concepciones de las hipótesis astronómicas en el Renacimiento y, como preámbulo, en la antigüedad.

verso. Con todo, el Ptolomeo astrónomo niega que la explicación plena de las perturbaciones planetarias esté dentro de las posibilidades humanas. Así, pues, la explicación astronómica es virtualmente inconcebible para Claudio Ptolomeo. Se limita a suministrar *meras* predicciones» (N. R. Hanson, *Constelaciones y conjeturas,* 1973, página 16). Naturalmente, Hanson no conocía el trozo de las *Hipótesis* rescatado por Goldstein. Y así, él, como otros muchos, lo concibieron como el máximo exponente de un instrumentalismo que no atribuía materialidad ni a las esferas celestes ni a los epiciclos; consideraron que era uno de los mayores representantes de esa corriente para la cual lo importante era ofrecer un modelo matemáticamente exacto, esto es, que permitiera efectuar buenas predicciones sin que le importaran cosas tales como las causas de los movimientos o que su modelo fuera físicamente verdadero.

Por consiguiente, la importancia de *Las hipótesis de los planetas* es doble: por un lado, nos permite atribuir a Ptolomeo de forma inequívoca la elaboración del denominado sistema ptolemaico; por otro, constituye un elemento de juicio vital acerca de la pretendida polémica entre instrumentalistas y realistas en la antigüedad y la supuesta pertenencia de nuestro autor al grupo de los primeros.

La astronomía matemática de C. Ptolomeo

Como ya hemos mencionado anteriormente, *Las hipótesis de los planetas* consta de dos libros. Sólo parte del libro I nos ha llegado en griego, la cual denotaremos como I, 1. La parte I, 2, es la redescubierta por Goldstein en 1965. Tanto ella como el libro II han llegado hasta nuestros días solamente en árabe, de las que poseemos dos manuscritos (véase nota 27 *infra*). El manuscrito del Museo Británico está fechado en el año 1242, pero no se dice nada acerca del traductor. En cambio, en el manuscrito de Leiden se dice que el autor de la versión árabe fue Thābit b. Qurra, por lo que se puede fechar dicho manuscrito en el siglo IX.

Las hipótesis de los planetas están dedicadas a un tal Sirio, compañero, amigo o tal vez benefactor de Ptolomeo. Lo curioso es que

las cuatro obras principales de astronomía que nos han llegado de Ptolomeo están dedicadas al mismo personaje. Es como si Ptolomeo hubiera querido dar unidad por medio de esa dedicatoria a las tres ramas de la astronomía teórica: la astronomía matemática en el *Almagesto,* la astrología en el *Tetrabiblos* y en las *Tabulae Manuales,* y la astronomía física en las *Hipótesis*.

La pretensión de la obra es en cierto sentido semejante a la del *Almagesto*: dar cuenta de los fenómenos celestes mediante movimientos circulares y uniformes. Pero el *Almagesto* es una de las primeras obras de Ptolomeo, en la que no se da nada por supuesto, excepto ciertas nociones básicas de geometría euclídea: es como un manual para alumnos que no tuvieran nociones de astronomía, pero para los que su conocimiento completo supondría el dominio de toda la astronomía de la época. En las *Hipótesis,* en cambio, se presupone un cierto dominio de los conceptos y métodos usados en el *Almagesto*.

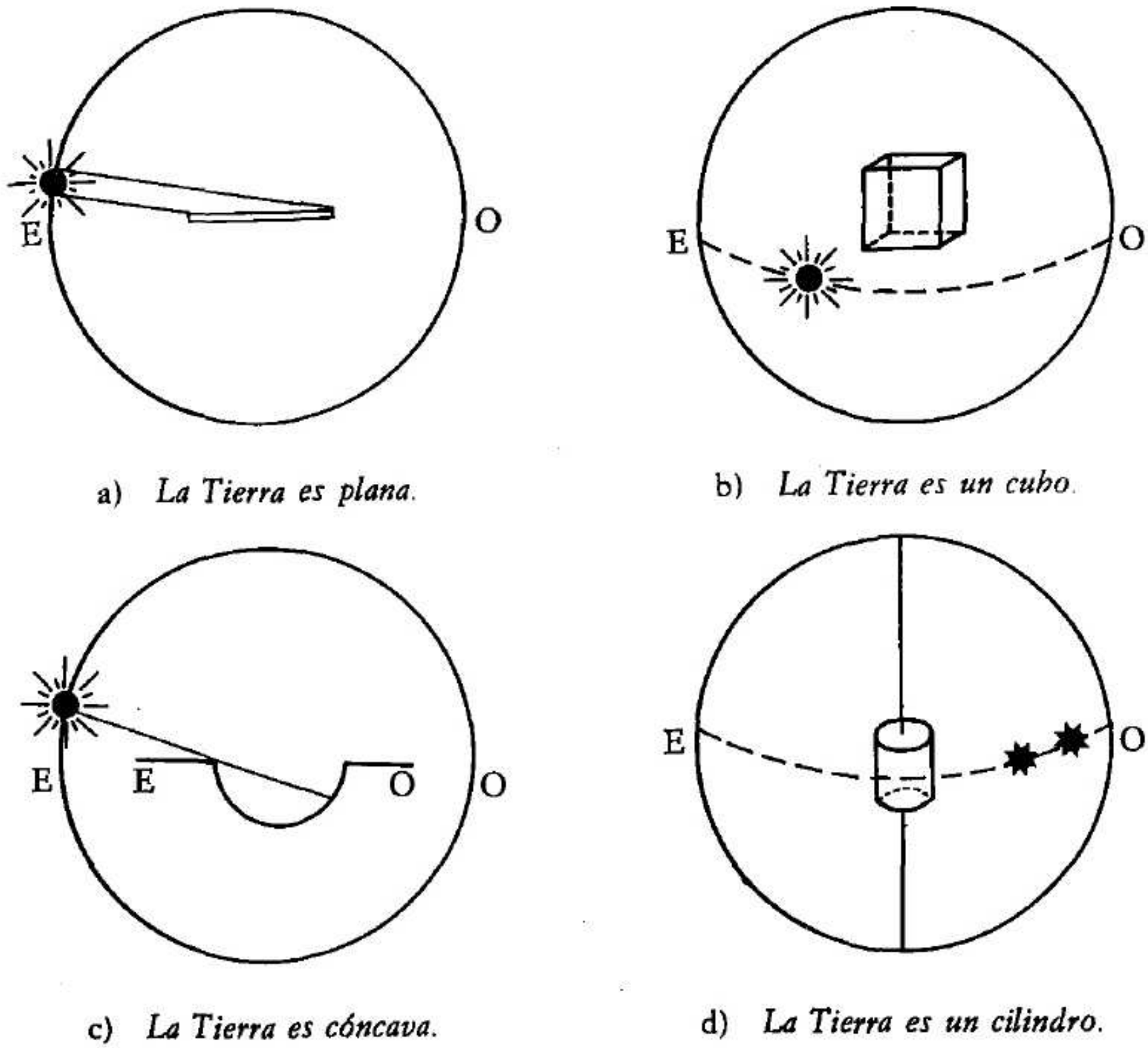
Así pues, hay que explicar el movimiento diario de las estrellas, así como el diurno y el anual del Sol; los fenómenos que produce el movimiento lunar: el mes sinódico (tiempo transcurrido entre dos fases iguales consecutivas de la Luna), el mes sidéreo (período que tarda dicho astro en volver al mismo punto del firmamento con relación a las fijas), el mes anómalo (tiempo que transcurre entre la máxima y la mínima velocidad lunar) y el dragónico o nodal (período que tarda la Luna en volver a uno de los dos puntos de intersección entre su órbita y la eclíptica, puntos denominados nodos). También deberán ser explicados, mediante los principios de regularidad y circularidad, los más alocados movimientos de los planetas (por ellos llamados 'estrellas errantes', que es lo que significa *planeta* en griego). Esto es bastante más difícil, pues los planetas no sólo disfrutan de un movimiento diario de este a oeste, sino también de otro de oeste a este (período sinódico) a lo largo de la eclíptica; además su camino a lo largo de ella visto desde la Tierra es todo menos regular; a veces se adelantan, a veces se paran (puntos estacionarios), para ponerse a continuación en marcha 'hacia atrás' (movimiento retrógrado); a veces su camino, sea directo o inverso, está por encima de la eclíptica (su latitud es norte), a veces por debajo, al sur de ella, aunque

sin llegar a desviarse más de los seis grados que constituyen la mitad del cinturón zodiacal.

Para explicar todo ello, tanto en el *Almagesto* como en las *Hipótesis*, Ptolomeo parte de tres principios básicos, en los que descansa toda su astronomía: la esfericidad de cielos y Tierra, el geocentrismo y el geostatismo. Todos ellos han sido aceptados en la tradición griega anterior, pero Ptolomeo no los adopta ciegamente. Considera que hay fundadas razones que los justifican como tales principios. Esas razones son por un lado geométricas, por otro de tipo experiencial (las observaciones realizadas por el astrónomo los avalan). Hasta tal punto debía considerar que estaba justificado en adherirse a esos principios o supuestos que les dedicó casi todo un capítulo del *Almagesto* (algo insólito en este tipo de literatura). En las *Hipótesis,* sin embargo, no los explicita, por lo que será conveniente recordarlos aquí.

Ptolomeo considera que el cielo es una esfera que se mueve de este a oeste. Sólo así se explica, pongamos por caso, que las estrellas salgan siempre por oriente, y tras describir un semicírculo, se pongan por el oeste. Si los cielos no fueran esféricos y se movieran en línea recta, cuanto más se alejaran de nosotros las estrellas, menores se verían, cosa que no sucede. Por lo que se refiere a la esfericidad de la Tierra, hay montones de hechos que la avalan, como, por ejemplo, que el Sol, la Luna y las estrellas se ponen antes para un observador situado al este que para uno que se halle al oeste. Si la Tierra fuera plana, las estrellas saldrían a la vez para todo el mundo (fig. 1a). Si la Tierra tuviera forma de cubo o pirámide, también las estrellas saldrían a la vez para todos los observadores situados en una misma cara (fig. 1b); en cambio, si fuera cóncava (fig. 1c) las estrellas saldrían antes para los observadores situados en el oeste que para los del este; si fuera un cilindro (fig. 1d), ninguna de las estrellas sería siempre visible para los observadores de la superficie curvada, como sucede con las estrellas que rodean la Polar.

Por lo que se refiere al geocentrismo y geostatismo, Ptolomeo utiliza en su apoyo argumentos semejantes a los anteriores. Con todo, veamos algunos como muestra. Si la Tierra no estuviera en el centro del universo, ni en el eje de la esfera celeste, pero equidistante de



a) *La Tierra es plana.*

b) *La Tierra es un cubo.*

c) *La Tierra es cóncava.*

d) *La Tierra es un cilindro.*

FIG. 1.—*Alternativas a la esfericidad de la Tierra.*

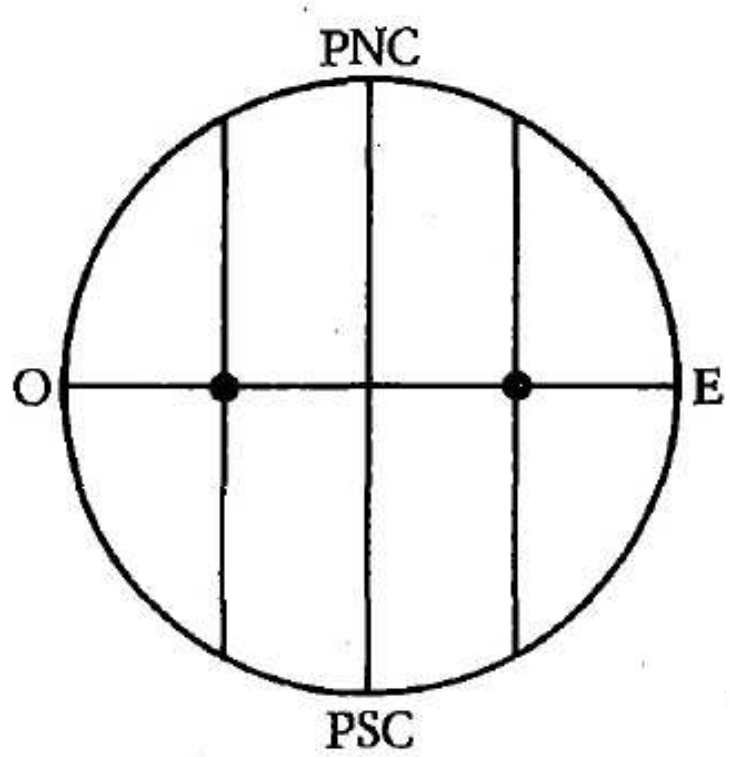


FIG. 2.—*La Tierra se halla equidistante de los polos, pero no en el centro ni en el eje de la esfera celeste.*

los polos de ella (tal y como se muestra en la fig. 2), siempre cortaría dicha esfera celeste en partes desiguales. Si así fuera, el día y la noche no tendrían nunca igual duración, esto es, no habría equinoccios, o si los hubiera, no caerían justo en medio de los solsticios, como de hecho sucede (fig. 3). Si la Tierra se encontrara en el eje

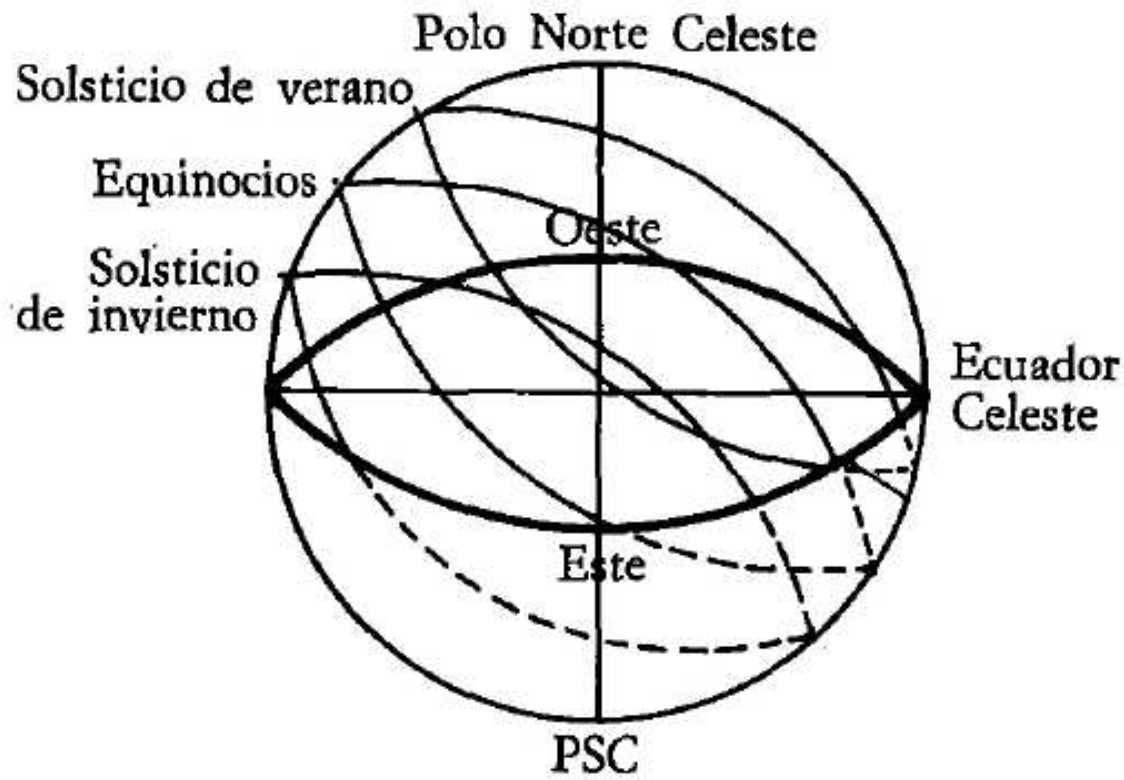


FIG. 3.—*Puntos más relevantes de la órbita solar.*

de la esfera celeste, pero no en el centro, esto es, más cerca del Polo Norte Celeste que del Polo Sur Celeste, o al contrario, el plano del horizonte cortaría dicha esfera desigualmente, y también dividiría el zodíaco en secciones dispares, pero de las doce partes de que consta el cinturón zodiacal siempre hay seis visibles. Las mismas objeciones se repiten si se considera que la Tierra no está ni en el centro, ni en el eje, ni equidistante (como muestra la fig. 4); en este caso, además, no sólo habría eclipses cuando el Sol y la Luna están diametralmente opuestos. Vemos, pues, que hay toda una serie de consideraciones en favor del geocentrismo. Sólo así se pueden entender los fenómenos celestes; pero además cualquir otra posibilidad queda rebatida por la experiencia.

Por lo que se refiere al geostatismo, Ptolomeo esgrime en su favor argumentos similares. Pero en este caso, añade algunos de tipo físico, lo que demuestra que este tipo de preocupaciones no le resul-

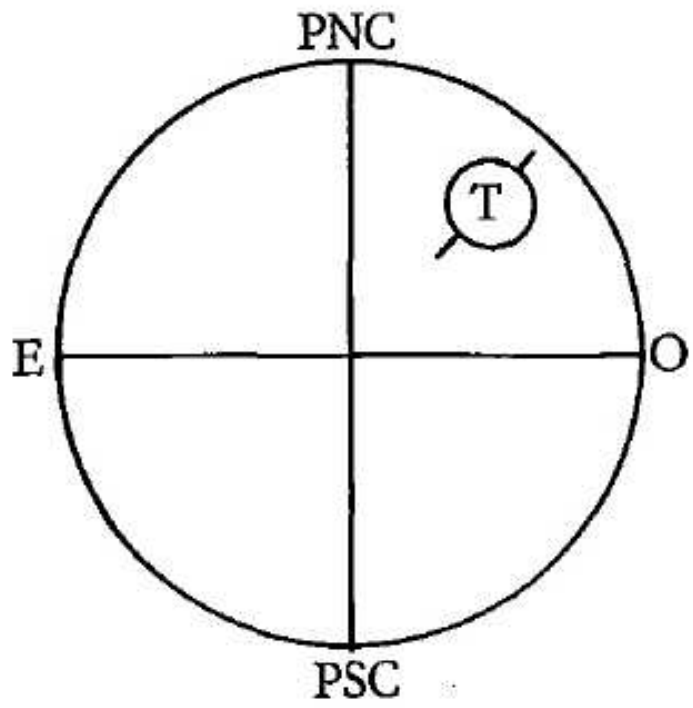


FIG. 4.—*La Tierra no se halla ni en el eje ni equidistante de él*

taban ajenas; por ejemplo, afirma que no tiene sentido que la Tierra se mueva hacia uno u otro lado, pues es un punto con respecto a los cielos y parece más plausible que lo que es más grande y homogéneo (esto es, los cuerpos celestes formados por la sustancia más sutil e igual) presione desde todas partes y ángulos sobre un punto.

Desde luego, la intención de Ptolomeo en las *Hipótesis* no es ofrecer sin más una nueva exposición matemática, aunque resumida, de los movimientos celestes. Pretende «exponerlos de una forma general con la idea de que sean más fácilmente comprensibles» (*Las hipótesis de los planetas,* p. 57); por ello, su exposición es consistente con los principios y modelos del *Almagesto,* pero incorporando mejoras en éstos y en determinados parámetros numéricos a partir de múltiples observaciones posteriores a la elaboración de esa obra (mejoras de las que iremos dando cuenta a medida que vayan apareciendo).

En el libro I de *Las hipótesis de los planetas* (parte 1) Ptolomeo expone los períodos sinódicos de cada uno de los planetas y resume sus movimientos, los de las fijas, el Sol y la Luna, según los modelos de excéntrica y epiciclos desarrollados en el *Almagesto.*

El modelo de excéntrica se utiliza para dar cuenta del movimiento del Sol y de su anomalía, esto es, su cambio de velocidad que produce la desigualdad de las estaciones. La figura 5 muestra dicha construcción geométrica. El Sol, S, describe un círculo con velocidad angular uniforme cuyo centro es *c,* que está a una cierta distancia

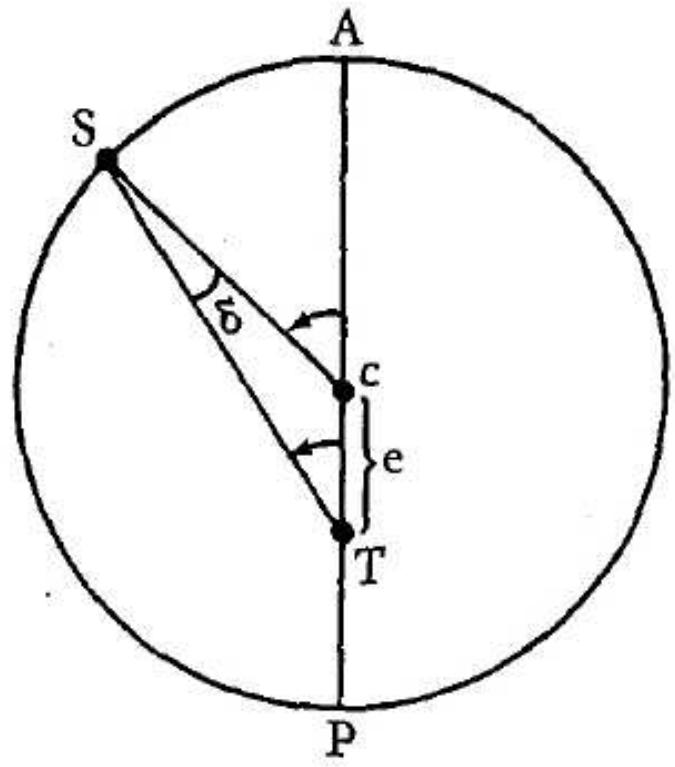


FIG. 5.—*El modelo de excéntrica.*

de T, la Tierra. A esa distancia, *e*, se la denomina excentricidad. Visto desde *c*, el movimiento del Sol es uniforme, con lo que el principio de uniformidad (igual que el de regularidad) queda a salvo. Sin embargo, para un observador situado en la Tierra el Sol irá más lento cuando se encuentre en el apogeo, esto es, cuando esté más lejos de la Tierra, y más rápido cuando se halle en el perigeo, P, a su menor distancia de la Tierra.

Se puede representar el mismo movimiento mediante el modelo simple de epiciclo, tal y como se muestra en la figura 6. En este

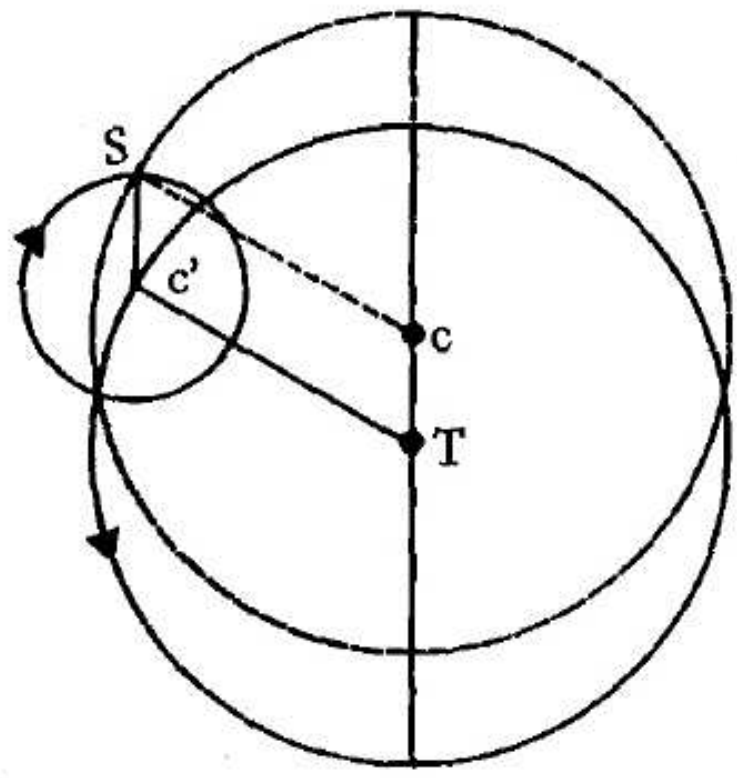


FIG. 6.—*Equivalencia del modelo de excéntrica y el de epiciclo.*

caso, el cuerpo, S, se mueve a lo largo de un epiciclo de centro *c'*, que a su vez se mueve con velocidad angular constante a lo largo de un círculo de centro T, en sentido opuesto al epiciclo. El círculo que transporta dicho epiciclo, como lo denomina Ptolomeo, es conocido desde el medioevo como *deferente*. Si la velocidad del cuerpo y del epiciclo son iguales, así como el radio del epiciclo y la excentricidad, el modelo de excéntrica y de epiciclo son equivalentes, como muestra la figura 6. Pero puede ocurrir que eso no suceda, en cuyo caso se puede utilizar el modelo de epiciclo, aunque no el de excéntrica, como sucede en el caso de la teoría lunar y de la planetaria.

Ya hemos mencionado los complicados movimientos que parecen tener los planetas para un observador situado en la Tierra. Ptolomeo tenía que probar que esos alocados y caprichosos bucles efectuados por ellos se podían representar mediante movimientos circulares y uniformes, que son los adecuados a la naturaleza celeste, mientras que el desorden y la desuniformidad les son ajenos. Para ello, parte de la disposición habitual de las esferas de tal modo que el Sol marque el límite entre los planetas superiores —Saturno, Júpiter y Marte, en orden descendente hacia la Tierra— y los inferiores —Venus y Mercurio. Ptolomeo afirma en el *Almagesto* que se puede considerar arbitraria esa disposición: «... tal criterio parece tener un elemento de incertidumbre, ya que es posible que algunos planetas puedan estar de hecho por debajo del Sol, no estando siempre, sin embargo, en uno de los planos que hay entre el Sol y nuestro observador, sino en otro, y, por consiguiente, podría no vérseles pasar por delante de él, igual que sucede en el caso de la Luna, cuando pasa bajo el Sol en la conjunción, sin que se produzca oscuración en la mayoría de los casos» (*Almagesto*, IX, 1). Con todo, opina que los planetas inferiores poseen ciertas características de las que carecen los superiores y que ello puede ser indicio de su distinta localización con respecto al Sol. Por ejemplo, Venus y Mercurio nunca están en oposición, esto es, situados en posición contraria al Sol con respecto a la Tierra, momentos en los que los planetas salen al ponerse el Sol y se ponen con el orto solar, siendo visibles durante toda la noche. Por el contrario, ni Venus ni Mercurio se ven nunca a medianoche, sino que son visibles bien como estrellas vespertinas

en el oeste, es decir, cuando alcanzan su máxima elongación oriental (que en el caso de Venus puede llegar a 47° y a 27° en el de Mercurio), bien como estrellas matutinas, esto es, cuando alcanzan su máxima elongación occidental, momento en el que se ven en el este justo antes de la salida del Sol (en el caso de Mercurio este hecho sólo se da al final del verano y en otoño). En el caso de las conjunciones, bien inferior (el planeta está entre el Sol y la Tierra) como superior (el planeta está al otro lado del Sol), tanto Mercurio como Venus son invisibles. Por estas características y otras de las que hablaremos más adelante en las *Hipótesis,* Ptolomeo opta decididamente por el orden habitual de los planetas.

Uno de los fenómenos más sobresalientes del curso seguido por los planetas son sus retrocesos en la eclíptica y sus puntos estacionarios, que complican enormemente todo intento de explicación por medio de movimientos circulares y uniformes. Pero además sucede que los arcos retrógrados se producen en cualquier punto de la eclíptica. Antes de Ptolomeo se habían ideado diferentes modelos para el movimiento planetario que fracasaron más o menos estrepitosamente. El modelo de las esferas homocéntricas ideado por Eudoxo (400-347 a. n. e. aproximadamente) y luego rectificado por Calipo (c. 330 a. n. e.) y Aristóteles (384-322 a. n. e.) discrepaba enormemente de los movimientos planetarios observados: según él, las figuras descritas por los planetas a lo largo de la eclíptica se repetían periódicamente y se producían siempre en los mismos puntos de la eclíptica, en cada ciclo. Por lo que se refiere al modelo simple de epiciclo, su utilización para explicar estos fenómenos produciría arcos retrógrados de igual longitud y a intervalos regulares. Por ello, Ptolomeo, aun conservando los principios de esfericidad, geocentrismo y geostatismo y para salvar los de regularidad y circularidad, se ve en la necesidad de modificar el modelo de epiciclo.

A partir de unas cuantas observacioines de los planetas (en realidad las que consigna en el *Almagesto* son muy pocas y en las *Hipótesis* ninguna, pero es de suponer que realizara más) determina sus períodos, estableciendo que un número entero de años solares es igual a un cierto número de vueltas o retornos a la misma longitud, más otro número de vueltas anómalas.

La figura 7 representa el modelo de epiciclo que funciona exactamente igual en el caso de los planetas superiores y Venus, excepto por un aspecto que señalaremos más adelante. El movimiento medio del planeta viene expresado por el de C, el centro del epiciclo. El planeta, P, se mueve sobre ese epiciclo en el mismo sentido que el círculo de centro G que dista de la Tierra, T, una distancia, *e,* igual a la distancia que hay de G a E, y que es el punto a cuyo alrededor se mueve el centro del epiciclo. Este punto E es el famoso *ecuante,* una de las principales innovaciones de la teoría ptolemaica. La línea imaginaria, CP, que une el centro del epiciclo con el planeta es para-

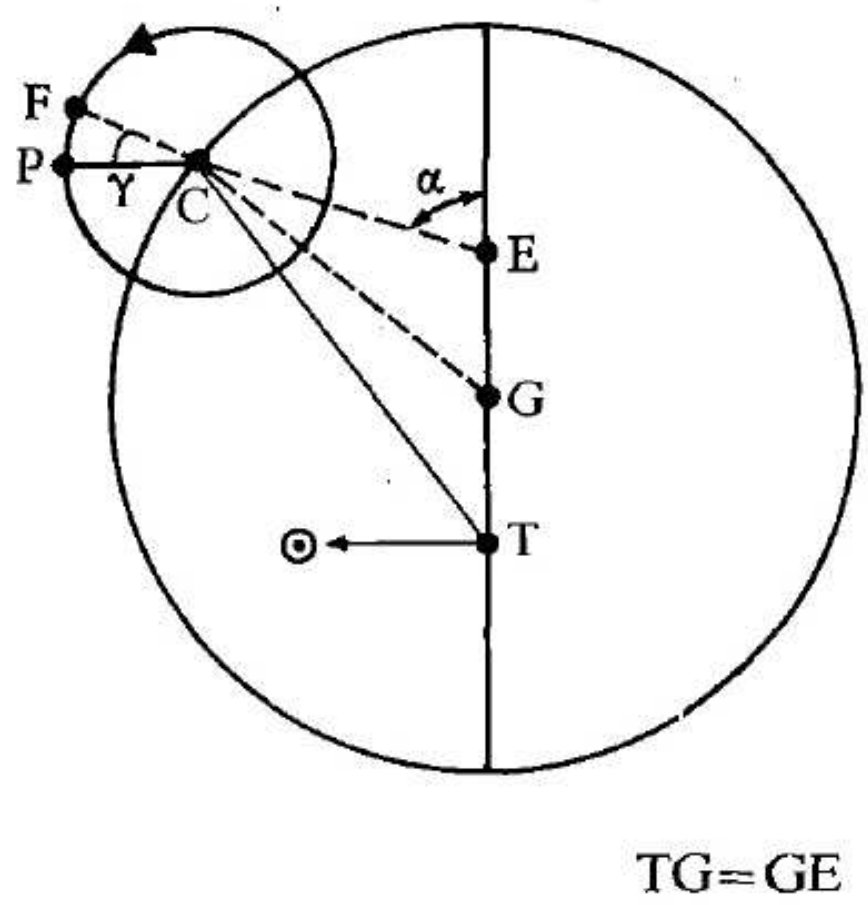


FIG. 7.—*El modelo de epiciclo de los planetas exteriores.*

lela a la línea que une T y el Sol, ⊙, en el caso de los planetas superiores, pero no en el de Venus. El movimiento en anomalía del planeta se mide mediante el ángulo γ desde el punto F. Como, en el caso de los planetas superiores, un número entero de períodos solares equivale a un cierto número de vueltas en anomalía más determinados retornos a la misma longitud, la línea PC será siempre paralela a la línea trazada desde T al centro del Sol. En el caso de Venus, el ángulo γ varía de forma independiente de la posición del Sol, aumentando, en cambio, α según la longitud de éste; esto es, el epiciclo viene dado por la observación de las máximas elongaciones.

En el caso de Mercurio, el modelo es algo más complejo, pues hay que dar cuenta de la variación de la excéntrica. En este caso el planeta se mueve sobre un epiciclo cuyo centro, C, se mueve en un círculo deferente de centro F que no es fijo, sino que, a su vez, se mueve alrededor del centro G en sentido opuesto al del epiciclo, y a la misma velocidad que él. El radio de este círculo de centro G es igual a la distancia que hay de la Tierra, T, a E, el ecuante, esto es, TE = EG, y el ángulo AGF es igual al AEC.

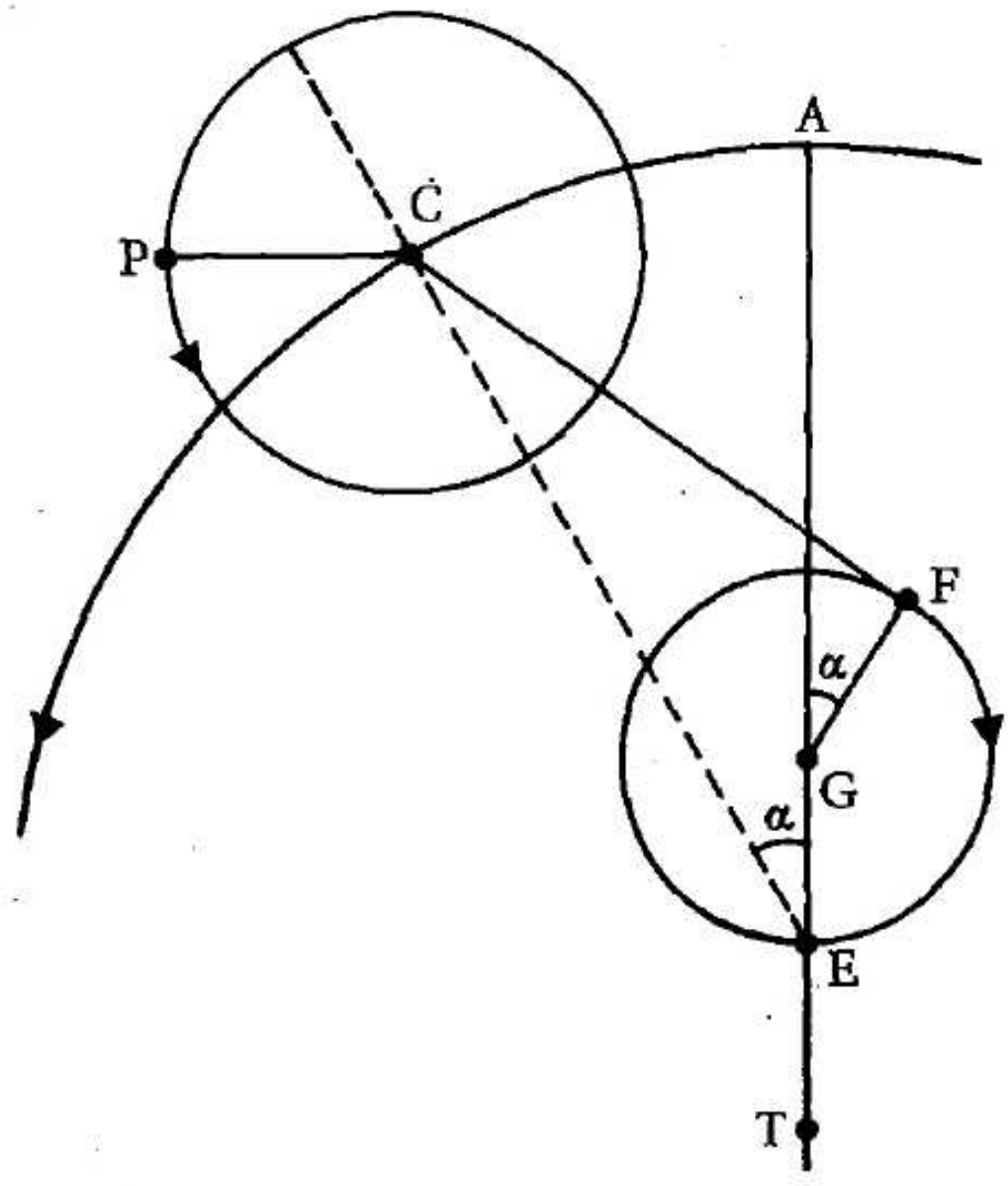


FIG. 8.—*El modelo de Mercurio.*

Así, pues, en todos los planetas, uno de sus movimientos que determinan su posición en la eclíptica está relacionado con el Sol: en el caso de los planetas exteriores, la línea que va del centro del epiciclo al planeta es paralela a la línea que une el Sol y la Tierra, mientras que en los planetas interiores el centro del epiciclo está precisamente en esta línea.

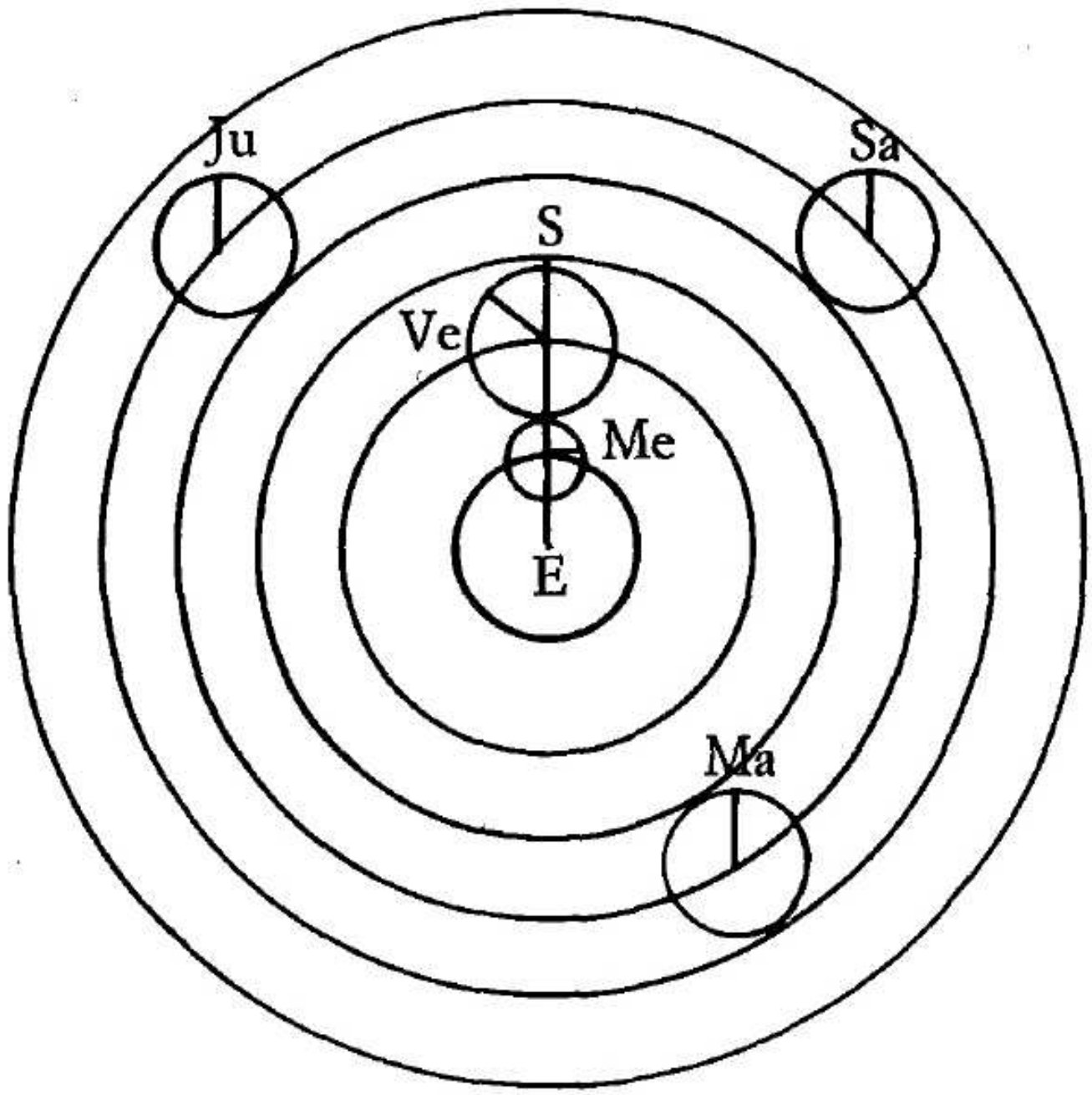


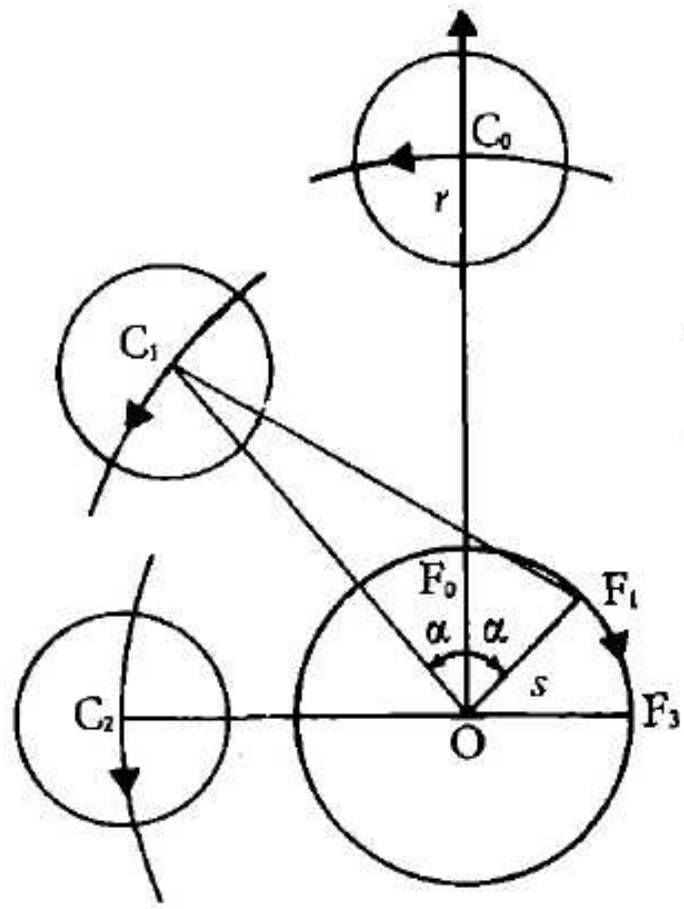
FIG. 9.—*Representación simplificada de la relación existente entre el Sol y los planetas (tomado de Lloyd, 1973).*

Estos modelos permiten calcular la excentricidad del planeta, el tamaño del epiciclo y las magnitudes y duración de los movimientos retrógrados de cada planeta; asimismo, pueden construir tablas mediante las cuales determinar las longitudes y latitudes de cada uno de ellos en un momento dado.

Consideremos, por último, el caso de la Luna, sumamente complicado. Ptolomeo tiene que compaginar los períodos lunares y construir un modelo que dé cuenta de todos ellos. El modelo simple de epiciclo funciona bien en el caso de conjunciones, esto es, cuando Sol, Luna y Tierra están en ese orden y en línea recta. Pero en las cuadraturas, cuando el ángulo formado por los tres cuerpos es de 90° ó 270°, la Luna no se comporta de acuerdo con lo predicho por el modelo simple de epiciclo; en esas posiciones, el diámetro del epi-

ciclo parece agrandarse y la posición observada de la Luna está en una longitud a veces mayor, a veces menor de la calculada.

Ptolomeo idea un mecanismo sumamente ingenioso que acerca el epiciclo según se aproxima a la cuadratura. En la figura 10, C_0 es el centro del epiciclo lunar, de radio *r*, que se mueve alrededor de la Tierra, que a la vez es el centro del círculo, O, por el que se mueve el epiciclo, esto es, el deferente, de radio OC_0. Cuando OC_0 ⊙ están en línea recta se produce la conjunción. Si consideramos el epiciclo de centro C_1, éste ya no se mueve alrededor de O, sino de F_1, que sí lo hace alrededor de O, según un círculo de radio *s*. El centro del epiciclo se ha desplazado de C_0 a C_1, formando un ángulo α igual al



$OF_1 + C_1F_1 = OC_0$

FIG. 10.—*El modelo lunar.*

formado por el punto F_0 al desplazarse a F_1. $OF_1 + C_1F_1 = OC_0$. El centro del epiciclo se acerca a O según aumenta α, y alcanza su mayor proximidad en la cuadratura, cuando $\alpha = 90°$ (caso en el que el centro del epiciclo es C_2). Volverá a estar a la distancia inicial OC_0 cuando la Luna se halle en oposición, esto es, cuando $\alpha = 180°$, momento en

el que de nuevo $OF_1 + C_1F_1 = OC_0$; se puede ver fácilmente que si $\alpha = 270°$ ocurre lo mismo que cuando el ángulo en cuestión es de 90°. Resulta curioso, no obstante, que Ptolomeo no se apercibiera de que, según este mecanismo, la distancia mínima de la Luna a la Tierra es algo mayor que la mitad de su distancia máxima, por lo que el tamaño de la Luna en su perigeo debería ser casi el doble que en el apogeo, lo cual no es el caso. Pero las preocupaciones de Ptolomeo en el *Almagesto* son muy diferentes a las de las *Hipótesis*. En aquella obra pretendía dar cuenta de los hechos de una forma matemáticamente exacta, sin pretender hallar una explicación física de los movimientos de los planetas y los astros. Así lo demuestra la opinión vertida en el *Almagesto*: «... sólo las matemáticas pueden proporcionar conocimiento seguro e imperturbable a quienes a ellas se dedican, siempre que lo hagan rigurosamente, pues este tipo de prueba procede por métodos incuestionables, a saber, la aritmética y la geometría. De ahí que nos sintiéramos atraídos por la investigación de esa parte de la filosofía teórica, esto es, de las matemáticas, pero *en especial de la teoría que se ocupa de las cosas divinas y celestes*» [5]. Esto no significa, sin embargo, que Ptolomeo no fuera consciente de la importancia de la física y de la necesidad de efectuar una especie de síntesis que evitara que las cuestiones físicas quedaran al margen: «Por lo que se refiere a la física, *las matemáticas pueden contribuir de forma importante,* pues casi todo atributo peculiar de la naturaleza material resulta aparente a partir de peculiaridades de su movimiento de lugar en lugar» [6]. Podríamos afirmar que tras el tratamiento matemático de 'las cosas divinas y celestes' emprendió en *Las hipótesis de los planetas* la tarea de mostrar cómo las matemáticas podían ayudar a la física.

La astronomía física de Ptolomeo

Ptolomeo intenta ofrecer su visión cosmológica en las *Hipótesis*. En esta obra es en la que trata de describir la estructura física del universo, cómo y de qué manera están ordenados los cuerpos celes-

[5] *Almagesto,* libro I, sección 1, p. 36; el subrayado es nuestro.
[6] *Ibidem;* el subrayado es nuestro.

tes, cuál es el tamaño o las dimensiones del cosmos, cuáles son las causas de los movimientos celestes.

Tras exponer los movimientos circulares y uniformes en los que hay que descomponer los aparentemente complejos y caóticos cursos de los astros, Ptolomeo determina las distancias a las que se encuentran los cuerpos celestes para poder luego elaborar un sistema cosmológico completo. Dicho sistema posee tres características principales: el orden de los planetas es Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno, comenzando por el más cercano a la Tierra y terminando por el más alejado de ella (véanse pp. 29-30 *supra* y nn. 31 y 34 *infra*). Ahora el mecanismo de cada planeta no está constituido por una serie de círculos entre los que se establecen ciertas relaciones, sino que son esferas, capas o trozos serrados de esferas [7] concéntricos con la Tierra; estas esferas o capas van unidas unas a las otras de modo que la superficie interna de una (por ejemplo, Saturno) coincide con la superficie externa de la siguiente (Júpiter en este caso), sin que en medio haya nada, ni éter ni vacío: «Si... el universo se configura según hemos dicho, no hay espacio entre las distancias mayores y menores... Esta es la más plausible de las configuraciones, porque no se puede concebir que en la naturaleza exista un vacío o cosas sin sentido o inútiles» (*H. P.*, p. 85).

En las *Hipótesis*, Ptolomeo determina las distancias a las que se encuentran los planetas de manera diferente a como lo había hecho en el *Almagesto* con las del Sol y la Luna. En dicha obra, Ptolomeo había hallado las distancias de las dos luminarias a partir de la observación de la paralaje [8] y mediante observaciones de eclipses. Pero puesto que la paralaje planetaria no se puede medir, afirma Ptolomeo [9], establece las distancias mediante cierto tipo de razonamientos. Todas ellas están dadas en radios terrestres, esto es, tomando

---

[7] Véase n. 48 *infra*.

[8] La paralaje es el desplazamiento de las posiciones aparentes que muestra un astro en la bóveda celeste, según el punto de la Tierra desde el que es observado.

[9] Sin embargo, según el modelo ptolemaico, Mercurio debía mostrar una paralaje de 1/2°, perfectamente observable en la antigüedad. Resulta extraño que un astrónomo tan apegado a las pruebas observacionales como Ptolomeo no comprobara esta consecuencia de su teoría.

como unidad el radio de la Tierra. La característica fundamental de estas distancias es que la distancia máxima de la esfera de un astro coincide con la distancia mínima de la esfera del siguiente, pues no hay vacío. En el cuadro I tenemos la distancia mínima, *m*, a que se encuentra la esfera de cada estrella (columna 1), la máxima, M (columna 2), la razón existente entre ambas, M/m (columna 3) y el radio de cada esfera, que es igual a su distancia máxima (columna 4).

CUADRO I

ESFERA	*1* *m*	*2* *M*	*3* *M/m*	*4* r_e
Fuego y aire		33		33
Luna	33	64		64
Mercurio	64	166	88/34	166
Venus	166	1.079	104/16	1.079
Sol	* 1.160	1.260		1.260
Marte	1.260	8.820	7/1	8.820
Júpiter	8.820	14.187	37/23	14.187
Saturno	14.187	19.865	7/5	19.865
Estrellas fijas	19.865			

* Véanse pp. 37-38 de la introducción y 80-83 del texto.

El valor que Ptolomeo adscribe a la parte más cercana de la esfera de la Luna es de 33 radios terrestres, cifra redondeada a partir del valor, más preciso, dado en el *Almagesto* a la distancia mínima de la Luna (33;33 ó 33,55^r) [10]. Lo mismo sucede con la distancia máxima, pues en las *Hipótesis* se redondea a 64^r en vez de 64;10 ó 64,166667, que se le atribuye en el *Almagesto*. Su afán por redondear los valores le lleva, en parte, a una dificultad de la que el pro-

[10] Véase n. 6 *infra*

pio Ptolomeo es consciente, pero que no soslaya: la discrepancia entre la máxima distancia de Venus y la mínima del Sol. Debían ser iguales, pero entre ambas hay una diferencia de 81 radios terrestres que Ptolomeo no está dispuesto a rellenar con una esfera adicional, por ejemplo, de éter.

En efecto, para obtener el radio de la esfera externa de Venus hay que multiplicar su distancia mínima (que es la máxima de Mercurio) por la razón M/m de las distancias extremas. Como, según Ptolomeo, en el caso de Venus M/m=104/16 obtenemos un valor de 1.079 radios terrestres, inferior a los 1.160 radios terrestres que constituyen la distancia mínima del Sol. Pero si se opera con los valores que aparecen en el *Almagesto* obtenemos los siguientes resultados:

Luna:	m=	33,55 (33;33)
	M=	64,166667 (64;10)
Mercurio:	m=	64,166667 (64;10)
	M=	177,55778 (177;33)
Venus:	m=	177,55778 (177;33)
	M=	1.189,7358 (1189;44)

En este caso, la distancia máxima de Venus excedería algo menos de 30^{r} la distancia mínima del Sol. Sin embargo, Ptolomeo, no se sabe muy bien por qué, prefiere adoptar los datos que se acercan más a las cifras exactas (*H. P.*, pp. 82-83). Observa, eso sí, que se puede obviar esa dificultad aumentando ligeramente la distancia de la Luna, lo cual da como resultado una disminución en la distancia del Sol, pero no presenta ninguno de los valores supuestamente modificados. Por consiguiente, las distancias quedan tal y como aparecen en las columnas 1 y 2 del cuadro I y como se muestran gráficamente en las figuras 11a y 11b.

A continuación Ptolomeo calcula la distancia en miríadas de estadios a que se halla cada esfera planetaria. Dicho cálculo es trivial, conociendo la medida del radio terrestre (dos miríadas y un tercio y un treintavo de miríada, esto es, 2,8666667 miríadas de estadios o

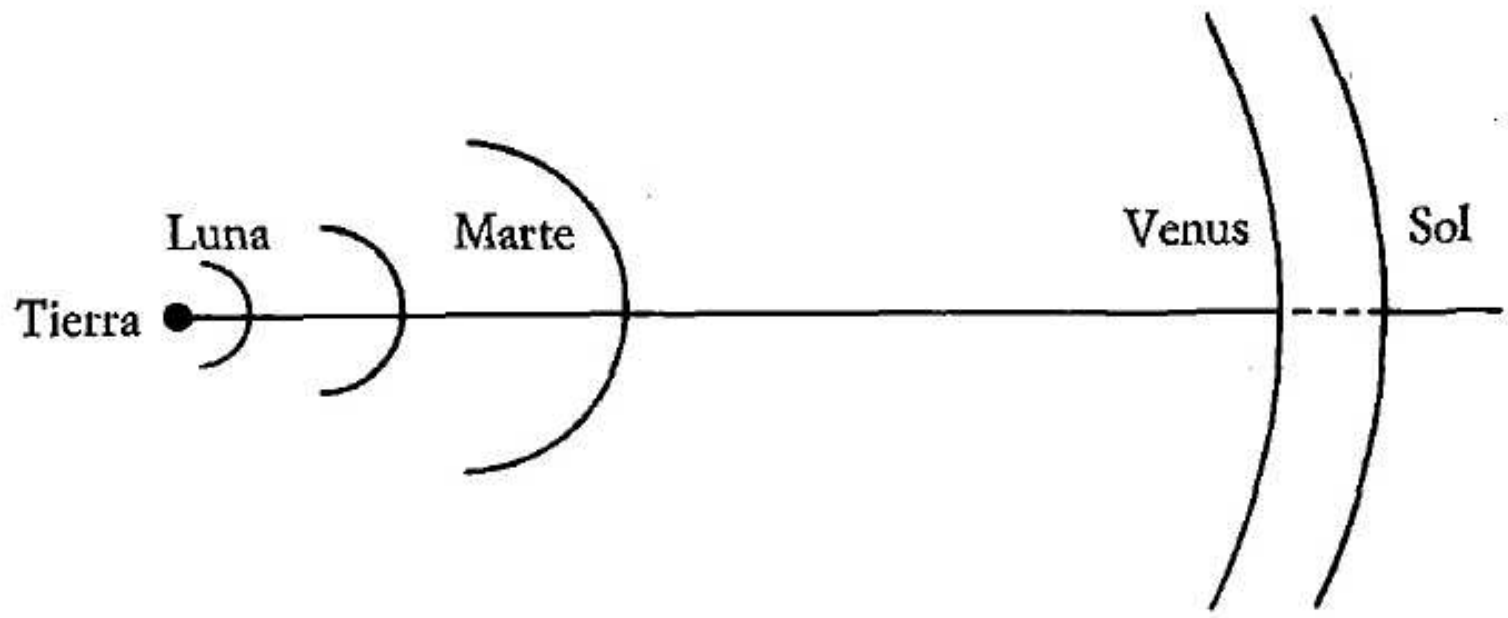


FIG. 11a.—*Las distancias de los planetas interiores y el Sol. La línea discontinua muestra el* vacío *existente entre la máxima distancia de Venus y la mínima del Sol.*

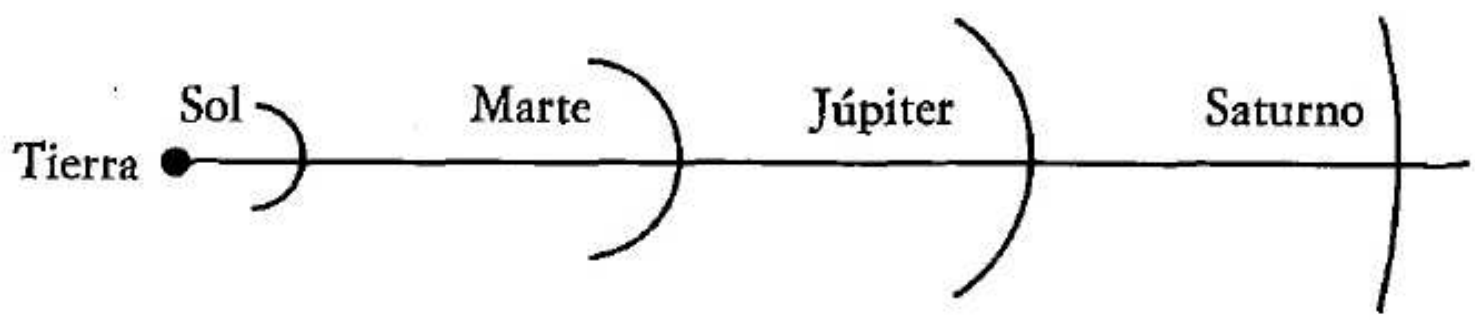


FIG. 11b.—*Las distancias de los planetas exteriores.*

28.666,667 estadios. En la columna 1 del cuadro II tenemos los valores de estas distancias tal y como aparecen en *Las hipótesis de los planetas* y en la columna 2 del mismo cuadro, su conversión al sistema decimal.

La conversión de estas distancias en una medida de longitud actual, de manera que podamos imaginar las dimensiones del cosmos ptolemaico, presenta ciertas dificultades. Ello se debe a que no sabemos con seguridad qué estadio utilizaba Ptolomeo, o a qué equivalía. Pero podemos efectuar ciertas conjeturas que nos permitan hacernos alguna idea. Sabemos que Eratóstones, en el siglo III a. n. e., había medido con cierta precisión la longitud de la esfera terrestre. Por ello, nos aventuramos demasiado al suponer que la estimación efectuada por Ptolomeo varios siglos después debió ser semejante a la de aquél. (Según ciertos autores, Ptolomeo usó la estimación de Posidonio, pero dejaremos de lado esa cuestión). Puesto que

CUADRO II

ESFERA	1 *Distancia (en mir. estadios)*	2 *Conversión decimal*	3 *Distancia en Km.*	4 *Distancia real actual en mill. de Km.*
Fuego y aire	$94\ ^1/_2\ ^1/_{30}$	94,6	210.012	
Luna	$183\ ^1/_2\ ^1/_{10}$	183,6333	407.296,01	385.000 Kmts.
Mercurio	$475\ ^1/_2\ ^1/_3\ ^1/_{30}$	475,86667	1.056.424	91,7042
Venus	$3.093\ ^1/_{10}\ ^1/_{30}$	3.093,1333	6.866.756,1	41,44392
Sol	3.612	3.612	8.018.640	149,6
Marte	25.284	25.284	56.130.480	78,3904
Júpiter	* $44.769\ ^1/_3\ ^1/_{30}$	44.769,367	90.286.068	628,7688
Saturno	$56.946\ ^1/_3$	56.946,333	10.464.711	1.277,12345

* Véase n. 34 *infra*.

la circunferencia terrestre tiene, de acuerdo con Ptolomeo, 18 miríadas de estadios, o 180.000 estadios, y suponiéndole bastante aproximación al valor real (unos 40.000 Kms.), podemos estimar el estadio usado por Ptolomeo en 222,22... m. En la columna 3 del cuadro II aparecen las distancias de los planetas en kilómetros, según los valores dados por Ptolomeo, y en la columna 4 del mismo cuadro la distancia real aproximada. Todo el cuadro II nos permite advertir lo pequeño que era el cosmos concebido por Ptolomeo, pues la esfera de las fijas, que se halla a la misma distancia que la distancia máxima de Saturno, está a menor distancia que la que de hecho hay entre el Sol y la Tierra.

Ptolomeo no se limita a determinar las distancias planetarias, sino que, además, a partir de la estimación de los diámetros aparentes de cada uno de los cuerpos celestes (columna 1, cuadro III) calcula sus auténticos tamaños de la siguiente manera. Halla las distancias medias, μ, a partir de las máximas y las mínimas ($\mu = \frac{M+m}{2}$) y que

CUADRO III

	1 *Diámetro aparente*	2 *Distancias medias* μ	3 *Diámetro real*	4 *Diámetro* $D_{Tierra}=1$	5 *Diámetro real actual*	6 *Volumen*
Luna	$1\,^1/_3$	48	64	0,2916667	0,26	0,025
Mercurio	$^1/_{15}$	115	8	0,037037	0,38	1,19683
Venus	$^1/_{10}$	$622\,^1/_2$	62	0,3	0,95	0,0227273
Sol	1	1.210	1.210	5,5	109,0	166,33333
Marte	$^1/_{20}$	5.040	252	2,1428571	0,51	1,5
Júpiter	$^1/_{12}$	11.504	959	4,3583333	11,2	82,3
Saturno	$^1/_{18}$	17.026	946	4,3	9,5	79,5
E. fijas	$^1/_{20}$	19.865 ó 20.000	1.000	4,55		94,291667

aparecen en la columna 2. Al multiplicar los valores obtenidos por las fracciones que representan los diámetros aparentes de cada cuerpo (en términos de los del Sol) se obtiene el diámetro real de cada planeta, también referido al Sol (columna 3). Y como se sabe que el diámetro solar es $5\,^1/_2$ veces el de la Tierra, Ptolomeo puede determinar el diámetro de cada planeta tomando como unidad el de la Tierra (columna 4). La columna 5 del cuadro III nos da la estimación actual aproximada del diámetro ecuatorial de cada planeta, también tomando como unidad el de la Tierra, de manera que podamos compararlos con los calculados por Ptolomeo. En la columna 6 se ofrecen los volúmenes de cada planeta, según *Las hipótesis de los planetas.*

Ahora bien, Ptolomeo no se para en la estimación de distancias y tamaños planetarios. Su deseo es ocuparse de los auténticos mecanismos según los cuales se mueven los cuerpos celestes de manera que sigan los principios y reglas del *Almagesto*. Tras exponer en el libro I los parámetros y valores de los movimientos observados de

los astros, así como la disposición y tamaño del cosmos, intenta ofrecer una explicación física de los movimientos de los planetas.

El origen y causa de los movimientos anómalos de los astros no son las estrellas fijas, pues éstas se mueven según el movimiento universal, esto es, de un modo simple y sin que le afecte ningún otro tipo de movimiento. En cambio, aunque el movimiento universal también afecte a los planetas (a través de los 'motores') el auténtico origen de sus movimientos anómalos es el movimiento local, que es «el primero de todos los movimientos y cosas cuya naturaleza es eterna... es la causa de las alteraciones y contradicciones cualitativas y cuantitativas existentes en las cosas que no son eternas y origina cambios que no se producen del mismo modo en las cosas eternas, tal como nos parece en apariencia, pues se producen en su propio ser y en su sustancia» (*Hipótesis*, p. 78). La trayectoria que siguen los astros y sus formas se explica según lo «adecuado a la naturaleza de los cuerpos esféricos», tal y como dictan «los principios que configuran la esencia que siempre permanece inalterable» (*Hipótesis*, p. 91).

Tras las consideraciones filosóficas acerca de las causas de los movimientos estelares, que en muchos casos tienen como objetivo atacar la concepción aristotélica del universo, Ptolomeo comienza la exposición de los modelos de esferas, capas y piezas serradas de cada uno de los planetas (y de las fijas). Como se verá a continuación, el texto adquiere un carácter sumamente farragoso. A pesar de que hay continuas referencias a figuras, en el manuscrito en árabe del Museo Británico sólo aparecen tres, pero sin que estén todas las letras indicativas usadas en el texto (hay espacios en blanco para el resto de las figuras que nunca se llegaron a incluir). Por lo que se refiere al manuscrito de Leiden, las pocas figuras que en él existen están equivocadas. Igualmente, y por lo que al propio texto se refiere, la denotación de los círculos y esferas es irregular e inconsistente: a veces se efectúa mediante una sola letra, a veces mediante las letras asignadas a sus ejes, o, en el caso de las esferas o capas esféricas, la referencia puede realizarse mediante uno solo de los círculos que las delimiten o mediante ambos. Por ello hemos optado por lo siguiente. En esta introducción ofreceremos una exposición *simplificada* del

funcionamiento del mecanismo de esferas de cada estrella, con la esperanza de que ello contribuya a un mejor entendimiento del sistema ptolemaico. En este punto hemos creído oportuno incluir las figuras elaboradas por O. Neugebauer en su *A History of Ancient Mathematical Astronomy* (1975). En el propio texto de las *Hipótesis,* y aun a riesgo de traicionar los manuscritos, hemos considerado conveniente incluir esas mismas figuras, pero completadas por nosotros, de manera que permitan seguir el hilo de la exposición ptolemaica (demasiado difícil ya como para exigirle además al lector que imagine las figuras).

En líneas generales, el sistema ptolemaico utiliza una esfera para producir la rotación diaria de cada uno de los astros, lo cual da un total de ocho 'motores', pues la esfera de las fijas también posee uno [11]. Luego, además, necesita cuatro esferas más para la Luna, siete para Mercurio, cuya complejidad de movimiento exige más esferas que ningún otro planeta; Venus y cada uno de los planetas exteriores necesitan cinco esferas, tres el Sol y una las estrellas fijas. Por consiguiente, el universo ptolemaico necesita un total de 43 esferas.

El primer sistema de esferas que aparece explicado en las *Hipótesis de los planetas* es el de las fijas, el más simple. En la figura 12, que es una representación de éste, tenemos una esfera que gira so-

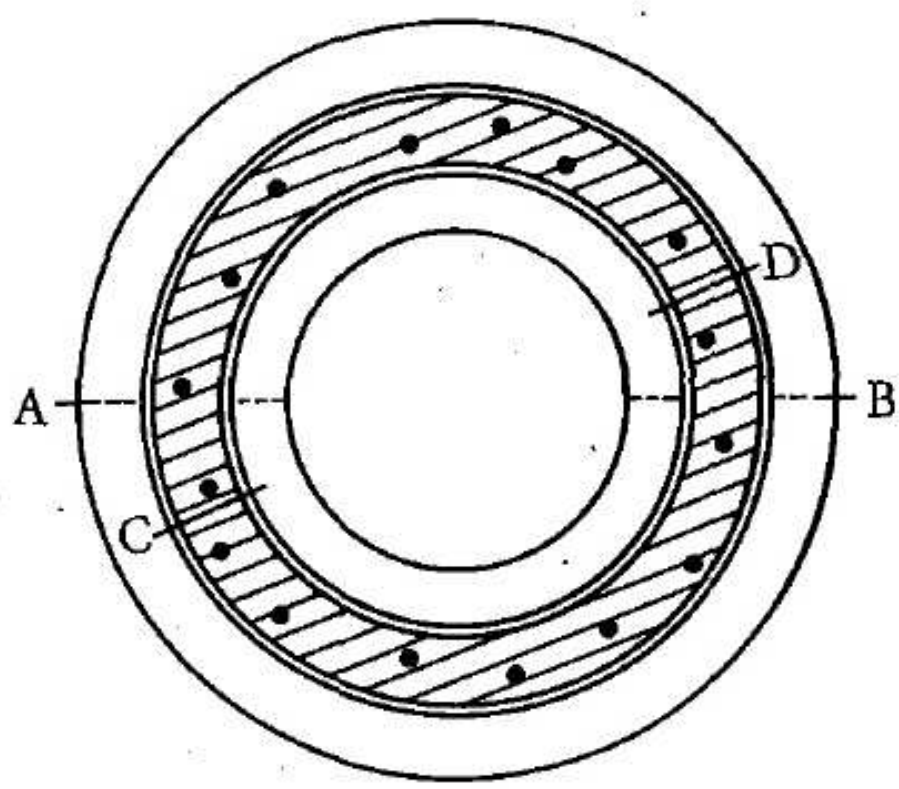


FIG. 12.—*El modelo de esferas de las estrellas fijas, según Neugebauer (1975).*

[11] En la exposición se prescinde de los motores, igual que Ptolomeo.

bre el eje AB y que es la que produce la rotación diaria. En la siguiente (rayada en la fig. 12) están las estrellas fijas y gira alrededor de un eje CD que está unido a la anterior y también a otra interna. El eje CD se corresponde con la eclíptica y, por tanto, el ángulo formado por los ejes AB y CD corresponde a su oblicuidad. El movimiento de la esfera media alrededor del eje CD es de tal tipo que es igual con respecto a las esferas interna y externa (en blanco en la figura). Esta es la forma de transmitir la rotación diaria de las fijas, pues esas dos esferas resultan inmóviles entre sí: como el sistema de Saturno va dentro de la esfera interna, que es su motor, el movimiento que le llega es el de la rotación diaria. Ptolomeo no dice ni cuál es el grosor de cada esfera ni si el eje AB va fijo a alguna parte, aunque señala que los puntos o pivotes en que se apoyan las esferas no son el origen o causa del movimiento (p. 94).

El sistema del Sol es muy simple. En la figura 13 el círculo externo corresponde a la superficie interna de la capa esférica que produce la rotación diaria del Sol. BΓ es el eje de la eclíptica y A la Tierra. AZ es la excentricidad (*e* en la fig. 5) de la órbita solar y ΘK la capa esférica en la que se encuentra el Sol, NΞ, cuyo grosor

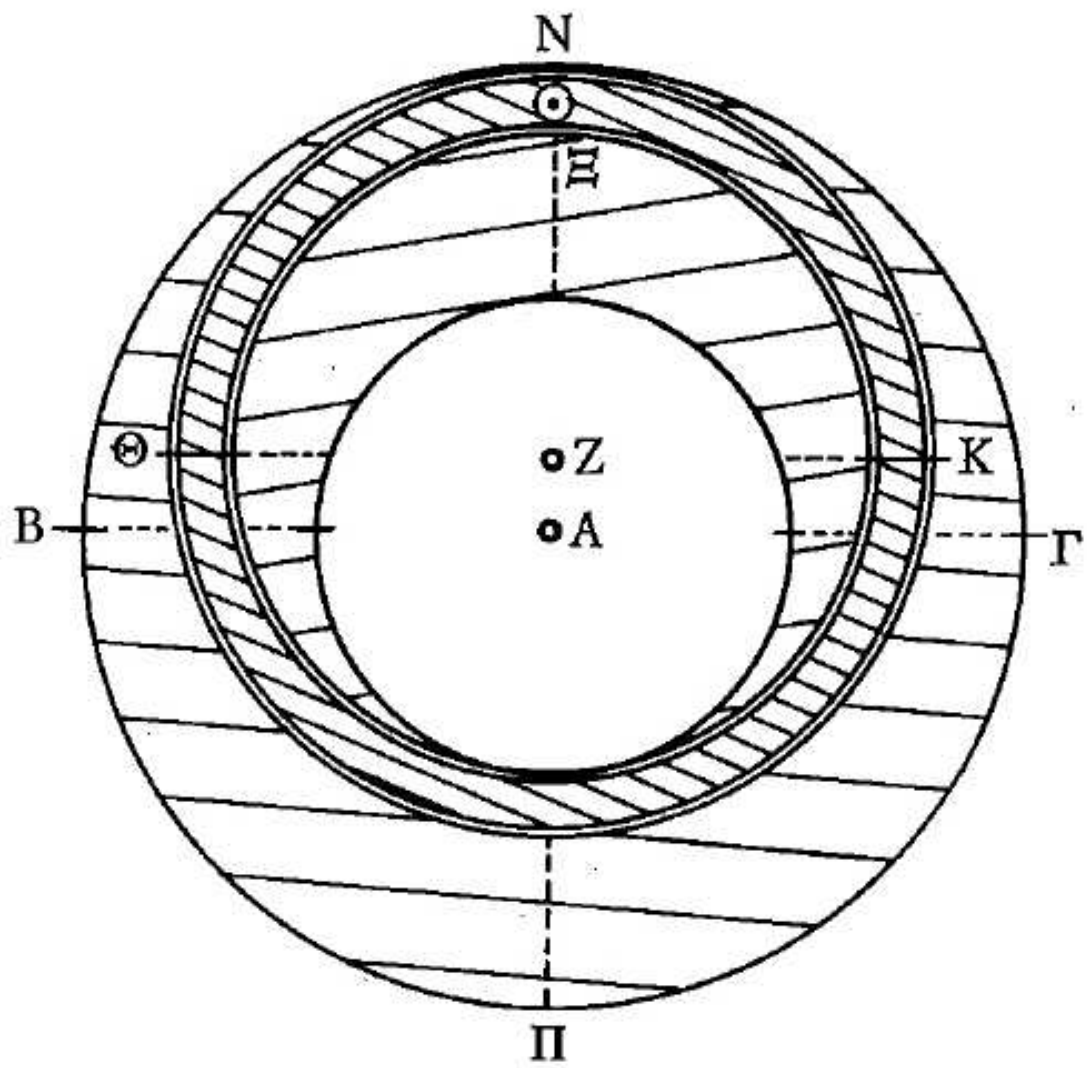


FIG. 13.—*El modelo de esferas del Sol, según Neugebauer (1975).*

viene determinado por el tamaño del astro. Dicha capa esférica rota alrededor del eje ΘK con velocidad igual al movimiento en longitud del Sol. El círculo interno corresponde a la superficie externa de la concha que transmite a Venus la rotación diaria.

El sistema de los planetas exteriores y Venus es semejante al del Sol, pero con dos esferas más para el epiciclo [12]. En la figura 14 el círculo externo cumple la misma función que en el caso del Sol, BΓ se corresponde con el eje de la eclíptica y A es la Tierra. El eje de

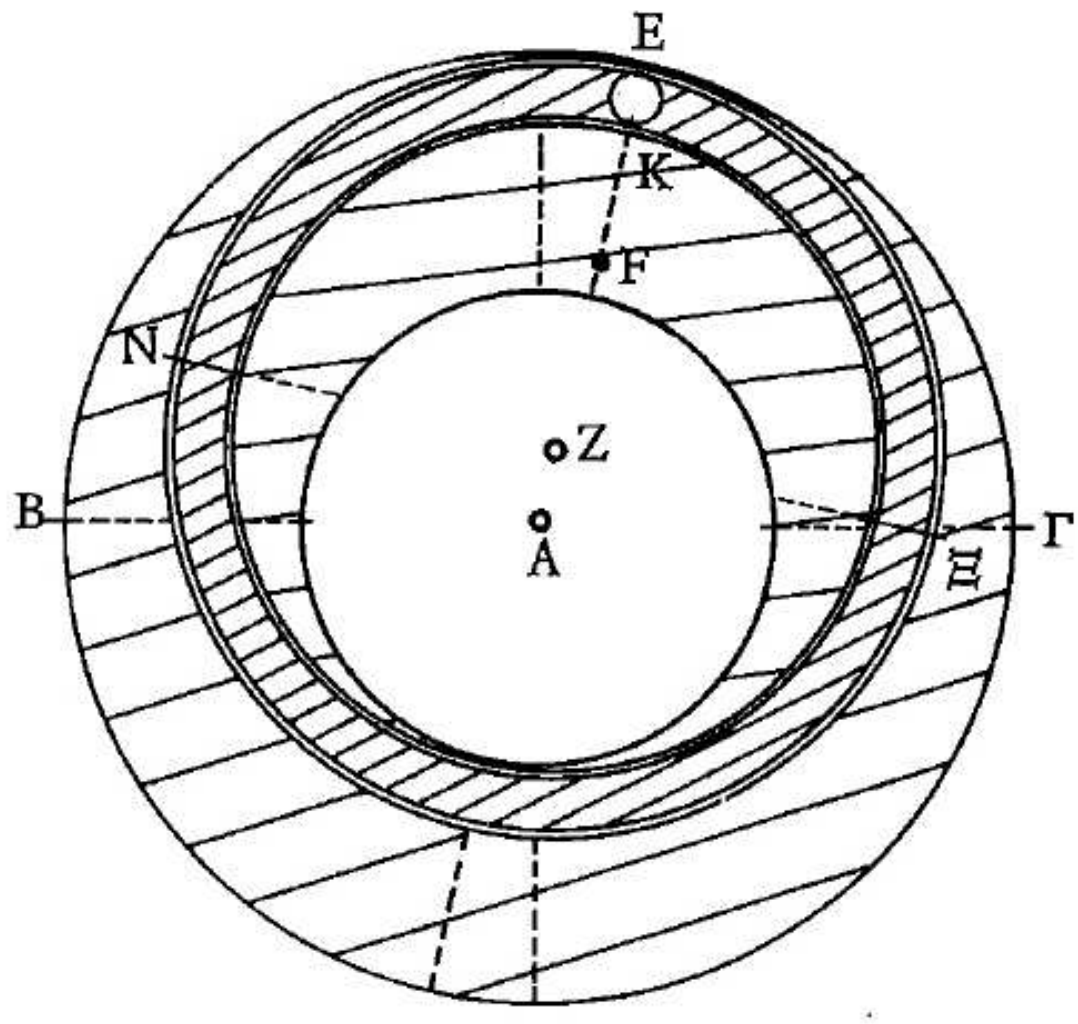


FIG. 14.—*Modelo de esferas de los planetas exteriores y Venus, según Neugebauer (1975).*

NΞ, el de la esfera rotadora, está inclinado con respecto al eje BΓ con un ángulo igual al de la inclinación entre el plano de la excéntrica y la eclíptica. En esta esfera vacía, EK, se halla el epiciclo, aquí simplificado, que es donde se encuentra el planeta. La velocidad del epiciclo es uniforme con respecto a F, el ecuante (véanse pp. 31-32 *supra*). El epiciclo está compuesto por dos esferas, una hueca y otra

[12] De hecho no señala qué modificaciones hay que hacer en el sistema de esferas de Venus para que pueda dar cuenta de las diferencias existentes entre este planeta y los exteriores. (Véanse pp. 111-112 *infra*).

sólida (aunque Ptolomeo no explicita de qué material); en esta última es en la que se halla el planeta Π (véase fig. 15). Dicha esfera sólida, de eje βγ, se halla dentro de una esfera concéntrica de eje νξ que encaja en la esfera EK. νξ es paralelo a NΞ y su esfera rota en sentido contrario al de la esfera de eje NΞ, eliminando así el efecto de esta rotación sobre la esfera sólida en la que está el planeta y que rota alrededor de un eje perpendicular a la eclíptica.

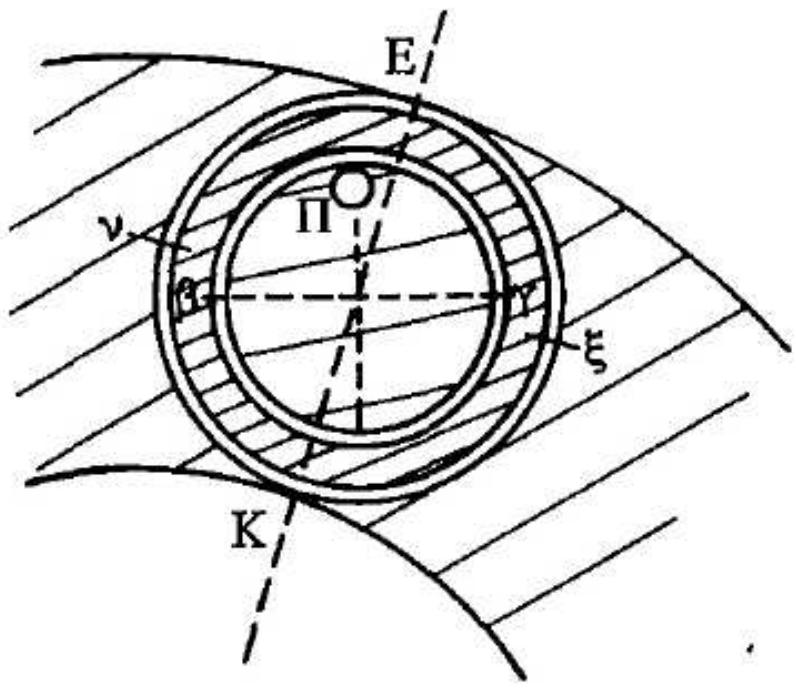


Fig. 15.—*Detalle del epiciclo, según Neugebauer (1975).*

En el caso de Mercurio, Ptolomeo añade dos esferas (véase fig. 16). De este modo pretende dar cuenta de la rotación del centro de la excéntrica, Z alrededor de H (en el caso de la figura 8, F y G, respectivamente). ΒΓ se corresponde de nuevo con el eje de la eclíptica, y NΞ es el eje de la capa en la que se halla la esfera hueca que contiene el epiciclo.

El sistema de la Luna es similar al anterior. Aquí, sin embargo, Z rota alrededor de la Tierra, A. También tenemos en este caso dos ejes paralelos entre sí, NZΞ y ΤΣΑ, oblicuos ambos con respecto al eje de la eclíptica ΒΓ, círculo que, a su vez, delimita la parte inferior del octavo motor. El círculo interno constituye el límite del mundo sublunar. La esfera interna del sistema de la Luna no necesita polos, pues ya no es necesario que transmita más movimiento (*Hipótesis*, páginas 119-120).

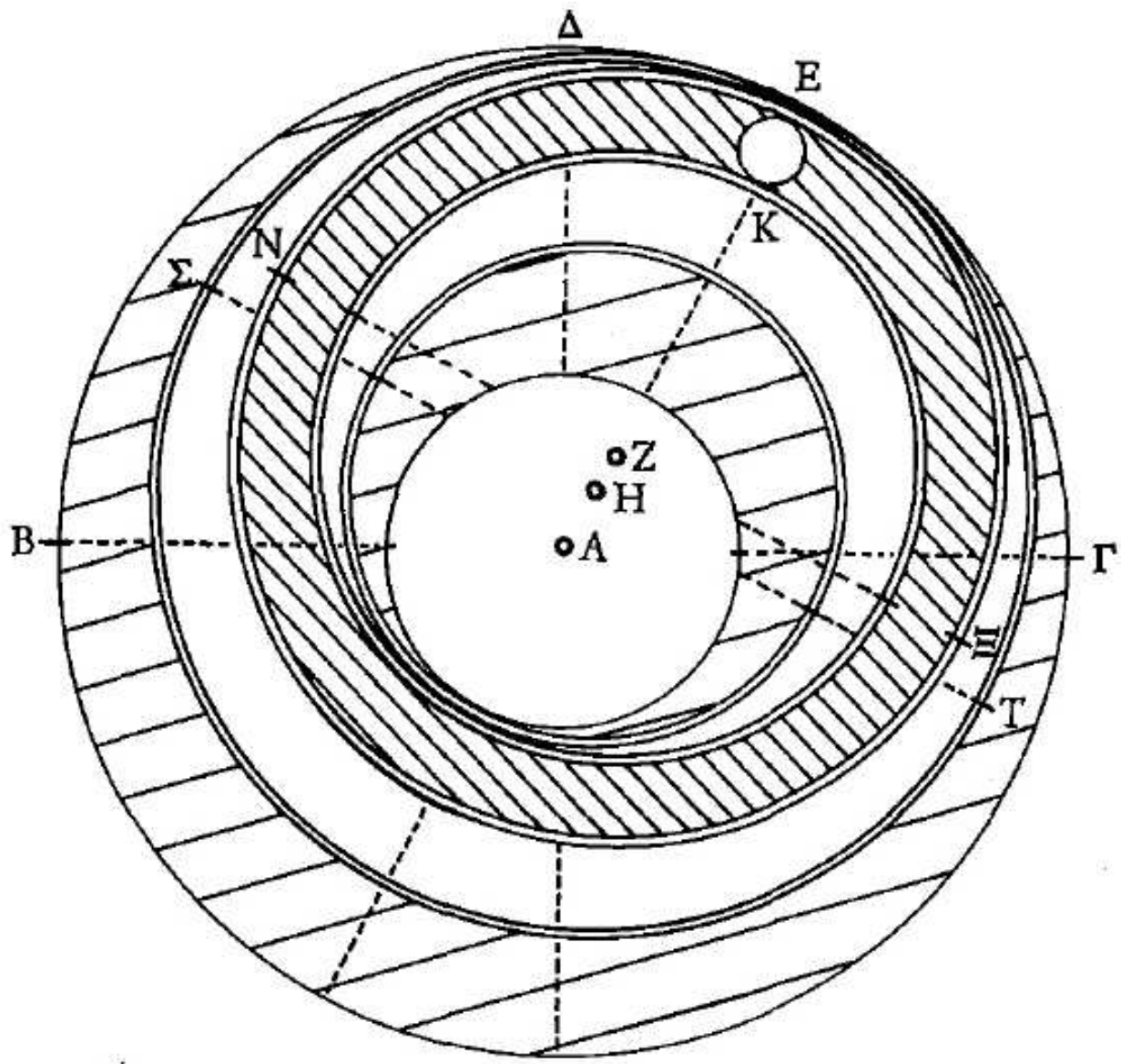


FIG. 16.—*El modelo de esferas de Mercurio, según Neugebauer (1975).*

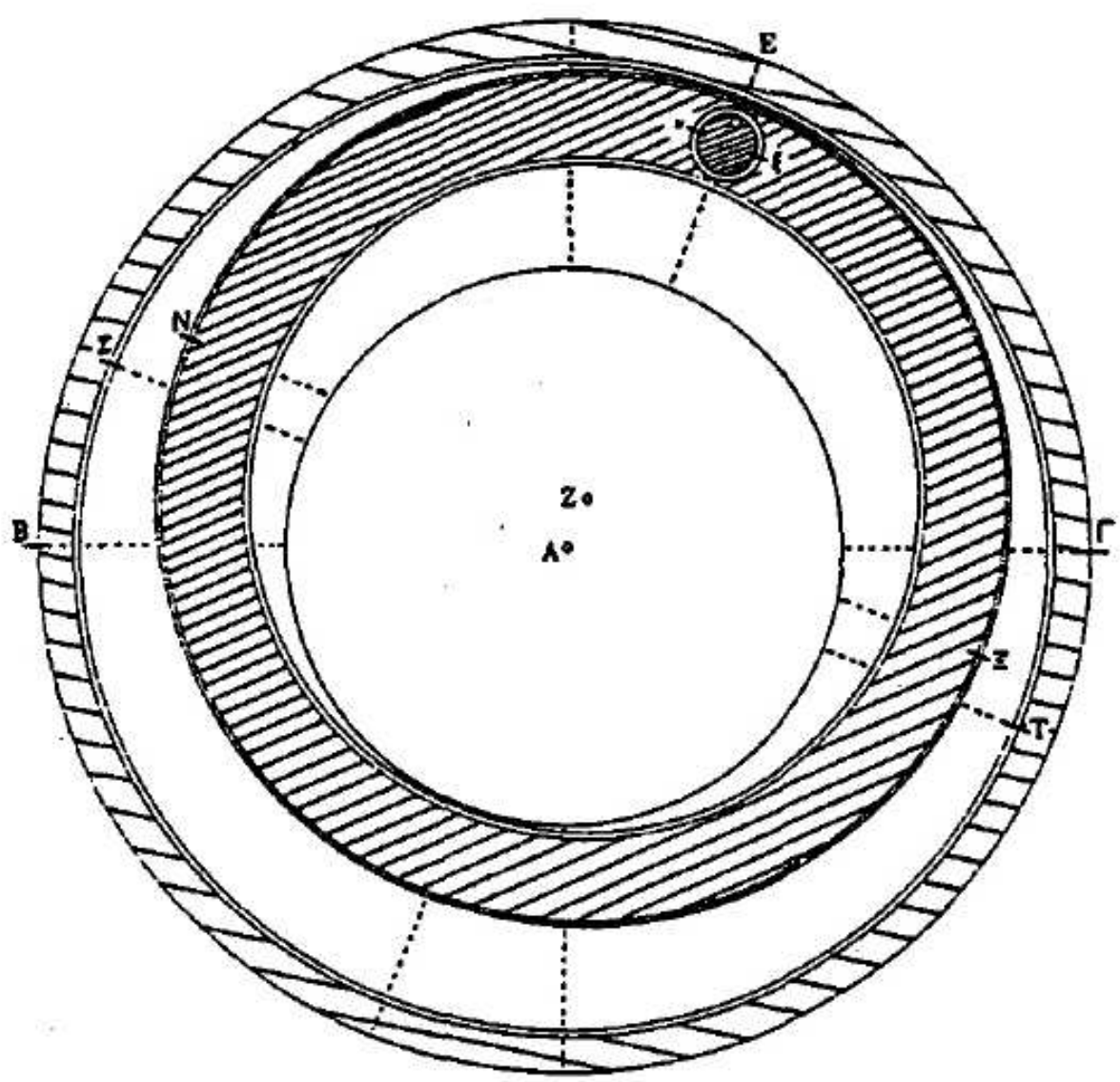


FIG. 17.—*El modelo lunar, según Neugebauer (1975).*

Ptolomeo considera que se puede simplificar considerablemente el sistema, si en vez de esferas utilizamos piezas cortadas de ellas (los célebres *manṣḫurāt,* véase n. 48, *infra*). Esas piezas se extraen de las partes de las esferas en que se realizan los movimientos, obteniendo una especie de ruedas dentadas. Los movimieintos que en ellas efectúan los astros son exactamente los mismos que los ejecutados en las esferas. El motivo de usarlos es el de seguir un cierto principio de economía. Ptolomeo adopta el mismo tipo de razonamiento que en el libro I de las *Hipótesis,* donde en determinado momento prescinde de las esferas porque le bastan círculos para dar cuenta de los fenómenos (*Hipótesis,* p. 58). En el libro II puede prescindir de las esferas completas para dar cuenta del curso de los astros y del origen de su movimiento. Es decir, prescinde de lo innecesario a la hora de efectuar sus explicaciones porque sigue una máxima bastante extendida: no hay nada en la naturaleza que no tenga un sentido, una función, que sea inútil. Pero, curiosamente, no fueron las piezas serradas lo que pasó a occidente, sino que fueron los sistemas de esferas los que dominaron la astronomía hasta el siglo XVII.

En esta concepción ptolemaica del universo hay que distinguir, en primer lugar, entre el mecanismo o sistema de cada planeta, considerado en su conjunto como una esfera adyacente al sistema de otro astro, y las esferas o capas esféricas cuyas combinaciones de rotaciones dan como resultado los movimientos observados de los planetas (véase n. 53 *infra*). En este segundo sentido, las esferas pueden ser de varios tipos: pueden tener el mismo centro que la eclíptica y rotar a su alrededor (en cuyo caso reciben el nombre de 'esferas de similar colocación'), o tener ese mismo centro, pero sin que giren a su alrededor (esferas que se llaman *deferentes*); también hay esferas cuyo centro no es el de la eclíptica y que giran alrededor de un eje paralelo a ella (excéntricas) y esferas que giran alrededor de un eje que no es paralelo al de la eclíptica (que se denominan 'esferas de colocación no similar'). Todos estos tipos de esferas (que en realidad son capas esféricas) tienen en su interior la Tierra, pero hay otras en las que eso no sucede: son las esferas de los epiciclos, las cuales, o bien giran alrededor de un eje paralelo al de la esfera deferente (en cuyo caso reciben la denominación de 'no inclinadas'), o

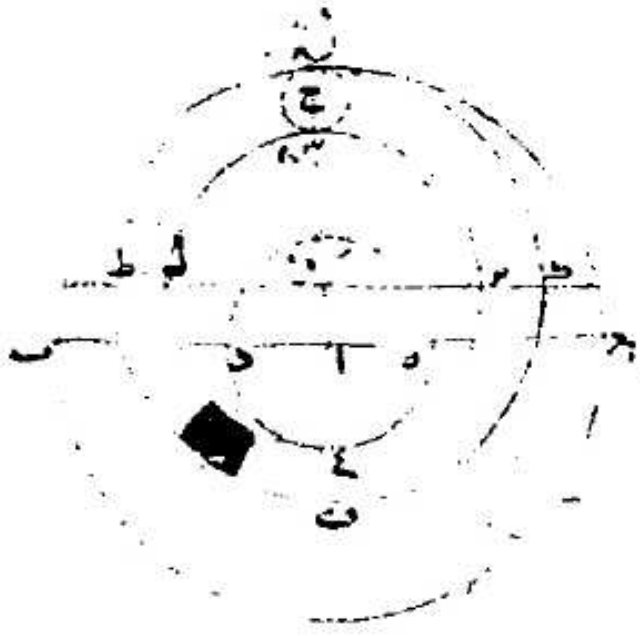
bien efectúan su rotación alrededor de un eje que no es paralelo al del deferente (y se llaman 'de inclinación anómala'). Todas las esferas, excepto la del interior del epiciclo, en la que se halla el astro, son huecas [13].

La esfera del universo no se apoya en nada, sino en sí misma, en lo cual seguramente hay que ver un cierto influjo estoico, una vez más. Según la cosmología estoica, el universo está rodeado por el vacío, junto con el cual compone el Todo. Sin embargo, el vacío queda absolutamente excluido del interior del universo estoico al igual que sucede en Ptolomeo: «No hay espacio entre las distancias mayores y menores [de las esferas adyacentes] y las superficies que separan una esfera de otra no difieren en las cantidades [ya mencionadas]. Esta es la más plausible de las configuraciones, porque no se puede concebir que en la naturaleza exista un vacío o cosas sin sentido o inútiles» (*Hipótesis,* p. 85). Esta ausencia de vacío permite la interacción y afinidad de las diversas partes que constituyen la estructura unificada del universo, como una cierta *simpatía.* Esa interacción resulta patente en los 'motores' de las estrellas que son cuerpos o esferas que «se mueven de este a oeste alrededor de los polos del ecuador con todo lo que los rodea, según la dirección del movimiento universal» (*Hipótesis,* p. 103) y que se encargan de *transmitir* a cada uno de los astros el movimiento diario. Pero esos motores no son los encargados de mover la estrella o planeta, pues éste se mueve gracias a su *fuerza vital* semejante a la que hace volar a un pájaro, y movilizando a la vez todo el conjunto de esferas del astro, pero sin que haya contacto entre ellas (*Hipótesis,* pp. 96 y 98-99).

Así, pues, tenemos un total de cuarenta y tres esferas (véase n. 67 *infra*) que dan cuenta del movimiento de los astros. Pero si utilizamos el sistema de piezas serradas, su número disminuirá considerablemente: sólo serán necesarias tres esferas y veintiséis piezas serradas, esto es, un total de veintinueve cuerpos. Ptolomeo también advierte la posibilidad de disminuir el número, bien de esferas, bien de piezas serradas, si consideramos que «las estrellas se mueven por

[13] Se puede apreciar aquí cierto influjo estoico, pues esta diversidad de centros puede estar en relación con la vieja idea estoica de la existencia de varios centros de atracción en vez de uno solo.

فلك الشمس واما في الزهرة وعطارد ففي نقطة بعدها من اوج فلك التدوير الى ناحية
المشرق تسعين جزءا وهي ربع دايرة ن
فلنصر الان الى القول في الشمس ونضعها على هذه الصفة فلنخط على آ وهو مركز فلك
البروج دايرة ب ج د ه ونخرج خط ا ز ح في سطح فلك البروج ونتوهم نقطة ب
على مركز فلك الشمس الخارج المركز ونرسم حول هذا المركز دايرة ط ك ل ونعمل على
مركز ح دايرة س ع ف الشمس ونتوهم الكرة التي تحيط بها ح كرة تحرك الشمس وهي الحركة الخامسة
من الكرة الاولى المحركة والكرة التي تحيط بدايرة د ه هي الكرة التي تحرك الزهرة وهي الكرة
السادسة من الكرة الاولى ونجعل ايضا نقطتي ب ح على سهم فلك البروج الذي تمر بنقطة آ
ونجعل ط ك ل و ه على سهم الفلك الخارج المركز الذي تمر نقطة ب الذي
هو موازٍ لسهم فلك البروج ولكن النسبة الخاصية له نسبة ان ب الى ب ح فاذا
حركت كرة ب ط من المشرق الى المغرب تحركت معها كرة ط ل لان كرة ب ط تتحرك على
سهم معدل النهار وكرة ط ل تتحرك على سهم موازٍ لسهم فلك البروج فاذا تحركت هذه
الحركة على الخلاف وحركت الشمس حركتها الخاصية من المغرب الى المشرق وعلى السهم
الذي تمر بطل ومد فان كرة ا ز سقى مقارنة لكرة ب ط لان قطبيهما اللذين هما
آ هما ط ل هما على سهم واحد وهو سهم كر ط ل حتى ان وضع لد يكون لوضع ب ط ولوضع
الكرة الاولى من الاكر المحركة كذلك ايضا الامر في وضع المنشورات الكرية فان العاد
ب ط ولد تتوهم متصلة بكرة الاثير وتتحرك معه مع القطعة الكرية التي تحتها من المشرق
الى المغرب فلنرسمها هنا الان كلها واحدة
والقطعة الموجودة هي من الكرة التي تحيط
بها دايرة ا ب ك ط ل المأخوذة فيما بين
س ع وهي قايمة على سهم ح آ الذي
هو سهم فلك البروج على زوايا قايمة وعرضها
بمقدار ما يحيط بجرم الشمس ينبغي ان
نجعل السهم الذي للشمس جسما واحدا
على الوجهين جميعا مجوفا غير زايل هو خارج
عن المركز لان سهمه موازٍ لسهم فلك البروج
مثال فلك الشمس



Folio 99r del BM *ms. arb.* 426, en el que aparece el modelo de esferas del Sol.

sí mismas y no merced a otros cuerpos» (*Hipótesis,* p. 119). No se explicita qué esferas habría que eliminar, aunque sí su número, siete, por lo que habría que perscindir seguramente de las esferas o 'motores' que transmiten el movimiento diurno. Eso, sin embargo, no haría sino arrojar bastantes dudas acerca de la eliminación del primer motor aristotélico por parte de Ptolomeo.

Finalmente, hay que indicar que a lo largo de todas *Las hipótesis de los planetas* no queda claro cuál es el material del que están hechas las esferas. Sólo en el caso de los motores que transmiten el movimiento diario se manifiesta de forma inequívoca su composición de quinta esencia o éter. Como este material es el que compone el mundo supralunar, es de suponer que las demás esferas también estén formadas por ese quinto elemento. Pero Ptolomeo no nos dice nada acerca de ello, ni tampoco de la composición de las esferas macizas de los epiciclos, en las que se encuentran los astros.

Como se ve, *Las hipótesis de los planetas* es una obra sumamente compleja, a veces contradictoria, pero siempre rica. Su edición ha supuesto muchas horas de esfuerzo y trabajo. Por ello deseo dar las gracias a cuantos han hecho posible su realización, en especial a los traductores, Aurora Cano Ledesma y José García Blanco, cuya paciencia ha sido infinita; y, como siempre, las discusiones con Carlos Solís han sido tan provechosas como inestimables.

EULALIA PÉREZ SEDEÑO

Madrid, 1986

BIBLIOGRAFIA

No hay hasta la fecha ninguna obra dedicada exclusivamente a *Las hipótesis de los planetas*. Por lo general las historias de la astronomía de este período se ocupan más de la astronomía matemática, desarrollada por Ptolomeo en el *Almagesto,* que de las *Hipótesis*. Así, pues, nos limitaremos a señalar unas cuantas obras que pueden contribuir a satisfacer la curiosidad del lector que esté interesado por estas cuestiones.

G. J. TOOMER ha efectuado una edición en inglés del *Almagesto* (*Ptolemy's Almagest,* Duckworth, Londres, 1984), al alcance de cualquier lector.

O. NEUGEBAUER, *A History of Ancient Mathematical Astronomy* (Springer-Verlag, Berlín-Nueva York, 1975) es, sin duda, el estudio más exhaustivo y completo de la obra astronómica de Ptolomeo (y de toda la astronomía antigua, incluyendo la babilónica y la posterior a Ptolomeo). Sin embargo, es una obra sumamente técnica y dura, se ocupa estrictamente de la astronomía matemática y deja de lado las cuestiones físicas. Pero en ella se puede encontrar un resumen fiable de las *Hipótesis de los planetas* y atinados comentarios.

O. PEDERSEN, *A Survey of the Almagest* (Acta Histórica Scientiarum Naturalium et Medicinalium, vol. 30, Odense University Press, 1974), se ocupa también de las *Hipótesis*. Su exposición es más bre-

ve que la de Neugebauer y subraya siempre el contraste entre el *Almagesto* y las *Hipótesis*.

A. ELENA, *Las quimeras de los cielos* (Siglo XXI, Madrid, 1985), es un excelente estudio sobre las distintas concepciones de las hipótesis astronómicas, hasta la revolución copernicana.

N. R. HANSON, *Constellations and Conjectures* (D. Reidel Pub. Company, Dordrecht, 1973; trad. castellana de Carlos Solís, *Constelaciones y conjeturas,* Alianza Ed., Madrid, 1978), es una excelente historia de la astronomía hasta Kepler, llena de perspicaces observaciones filosóficas. Sin embargo, esta obra, que en realidad es una recopilación de sus escritos efectuada por sus alumnnos después de su muerte, en 1967, adolece de un defecto muy importante en relación con las *Hipótesis* de Ptolomeo: Hanson desconocía la existencia de la parte II del libro I, descubierta por Goldstein.

Las obras que citamos a continuación servirán de ayuda o complemento a todo aquel que desee profundizar más en la historia de la astronomía (y de la física) antigua:

DICKS, D. R. (1970), *Early Greek Astronomy to Aristotle,* Londres, Thames & Hudson.

KUHN, T. S. (1957), *The Copernican Revolution,* Cambridge, Harvard. (Trad. española, *La revolución copernicana,* Barcelona, Ariel, 1978.)

LLOYD, G. E. R. (1970), *Early Greek Science. Thales to Aristotle,* Londres, Chatto & Windus. (Trad. esp., *De Tales a Aristóteles,* Buenos Aires, EUDEBA, 1977.)

—— (1973), *Greek Science after Aristotle,* Londres, Chatto & Windus.

NEUGEBAUER, O. (1951), *The Exact Sciences in the Antiquity,* Copenhague, Ejnar Munksgaard.

PEDERSEN, O. & PHIL, M. (1974), *Early Phisics and Astronomy,* MacDohal & Janes/Nueva York, American Elsevier.

PÉREZ SEDEÑO, E. (1986), *El rumor de las estrellas,* Madrid, Siglo XXI.

SOLÍS, C. (1987), *Historia de la física,* Alianza Ed. (en prensa).

LAS HIPOTESIS DE LOS PLANETAS [1]

[1] Nos ha parecido conveniente conservar la traducción clásica de ὑπόθεσις por 'hipótesis', aunque no hay duda de que para Ptolomeo ese término tenía un significado muy distinto del actual. La acepción más extendida hoy en día, dentro de la filosofía y la historia de la ciencia, es la de un enunciado que se admite como punto de partida dentro de una argumentación o un enunciado que sirve de base a una investigación, pero cuya verdad no ha sido comprobada y, por tanto, está sometido a contrastación empírica. Sin embargo, en Ptolomeo, 'hipótesis' es más bien un modelo o sistema explicativo, por lo que no extrañará al lector encontrar expresiones del tipo de 'las hipótesis que hemos demostrado'.

LIBRO PRIMERO: PARTE I

En nuestros comentarios de la *Sintaxis Matemática,* Sirio, hemos repasado las hipótesis de las revoluciones celestes, demostrando en cada una de ellas su verosimilitud y su concordancia absoluta con los fenómenos por lo que se refiere a la demostración del movimiento uniforme y circular que poseen necesariamente los cuerpos que participan de un movimiento eterno y regular y que de ninguna manera pueden recibir ni aumento ni disminución.

En esta obra, en cambio, nos hemos inclinado a exponerlas de una forma general con la idea de que sean más fácilmente comprensibles, tanto para nosotros mismos como para los que prefieran representarlas mediante la fabricación de instrumentos, ya sea que, al establecer cada uno de sus movimientos hasta su posición propia en un punto determinado, lo hagan manualmente, o bien hagan coincidir sus posiciones recíprocas con las de la totalidad mediante procedimientos mecánicos; pero no, desde luego, mediante el procedimiento habitual de la construcción de una esfera (pues, además de que falsea nuestras hipótesis, representa sólo el fenómeno y no su principio, de forma que se convierte en una demostración de habilidad artística y no de nuestras hipótesis), sino de manera que salte a nuestra vista la regularidad y a la vez la diversidad de los movi-

mientos junto con la irregularidad que percibimos los observadores en los movimientos uniformes y circulares, y aunque no sea posible combinar convenientemente todas las rotaciones de dicho proyecto, sin embargo, sí será posible mostrar por separado que cada uno de ellos es así [2].

Por lo que se refiere a lo general, haremos una exposición que se ajuste a lo que hemos definido en la *Sintaxis,* pero en lo particular seguiremos las correcciones que hemos hecho en muchos lugares gracias a perseverantes observaciones, sean de las hipótesis mismas, de sus relaciones particulares, de los retornos periódicos, o incluso en la forma de exponer las propias hipótesis; es decir, separaremos donde sea necesario los movimientos uniformes y uniremos de nuevo lo separado para que sus puntos de partida se correspondan con las partes y comienzos del zodíaco para facilitar los cálculos, de manera que se muestre la particularidad propia de cada revolución, incluso aunque muchos terminen en los mismos puntos. En cuanto a las posiciones y ordenamiento de los círculos que producen las anomalías, nos valemos de los procedimientos más simples con vistas a una buena metodología para la fabricación de instrumentos, aunque se siga una pequeña desviación; e incluso en la presente obra aplicaremos a los propios círculos los movimientos como si estuviesen liberados de las esferas que los contienen para apoyarnos en las hipótesis simples y como desveladas. Empezaremos por la revolución general del universo porque precede a todas y contiene al resto y nos podría valer como ejemplo de la mayor parte de la maravillosa naturaleza que atribuye cosas similares a cosas semejantes, como resultará evidente a partir de lo que vamos a mostrar.

---

[2] Ptolomeo escribe su obra, por tanto, no sólo con fines puramente teóricos, sino también prácticos. Espera que a partir de sus explicaciones se puedan construir modelos que permitan reproducir cada uno de los movimientos de los planetas por separado, o a la vez. Ptolomeo advierte acerca de efectuarlo mediante el procedimiento habitual de la construcción de una esfera, esto es, una esfera o astrolabio armilar, instrumento descrito y usado por Ptolomeo en el *Almagesto,* fundamentalmente para efectuar observaciones lunares. Ello es debido seguramente al hecho de que debía pensar más en un modelo físico que reprodujera los caminos de los astros que en un instrumento de cálculo.

Imagínese un círculo fijo en torno al centro de la esfera del universo y llámesela ecuador, y dividiendo la circunferencia en 360 cortes iguales, llámese a estos cortes con propiedad 'grados temporales' [3]. A continuación trácese otro círculo con el mismo centro, en el mismo plano y con la misma velocidad en torno al mismo centro de oriente a occidente y llámesele transportador [4]. Y que lleve otro gran círculo, inclinado sobre él en torno al mismo centro sin cambio de posición y que se le llame eclíptica [5]. Que la inclinación de estos planos contenga un ángulo de 23;51, 20 partes de las que uno

---

[3] Distingue entre *grado,* esto es, una de las 360 partes en que está dividido un círculo cualquiera, y *grado temporal* (χρόνοι ἰσημερινοί) o tiempo ((χρόνοι). En la antigüedad había varias unidades de medición temporal. Una de ellas era la *hora estacional* o civil, equivalente a la doceava parte del día o de la noche en cualquier estación, lo cual significa que una hora estacional de un día de invierno (en el sentido de 'duración de luz solar') era menor que una hora semejante de verano. La *hora equinoccial,* usada con fines astronómicos, tenía igual duración en invierno que en verano, pues equivalía a la veinticuatroava parte del día (en el sentido de 'día y noche'). Recibe el nombre de 'hora equinoccial' debido a que tiene igual duración que la hora estacional en los equinoccios. Los *grados temporales* eran otra forma de medir el tiempo. Como los 360 grados del ecuador tardan un día en cruzar un meridiano cualquiera, un grado temporal equivaldrá a una quinceava parte de una hora equinoccial, unos cuatro minutos de los nuestros. Por lo general, cuando Ptolomeo habla de 'grados', esto es, con el primer sentido explicado, nos hemos permitido emplear el signo convencional '°'. (Véase p. 61 a continuación).

[4] Esto es, el *deferente.* Ptolomeo utiliza la expresión griega ὁ φέρον τόν ἐπίκυκλον, literalmente 'el círculo que transporta el epiciclo'. Como el término 'deferente' es posterior a Ptolomeo, pues fue acuñado en el medioevo, no ha parecido conveniente usarlo en la traducción del texto griego. En cambio, sí se ha utilizado en la versión del texto árabe, muy posterior, pues en ella se utiliza el término *Falak al-tadwīr* con un significado clara y exclusivamente astronómico. Hay que señalar que en *Los libros del Saber* de Alfonso X se traduce el término correspondiente por el castellano antiguo *levador.*

[5] Ptolomeo distingue entre zodíaco y eclíptica. Para aquél utiliza la expresión δωδεκατημόριον, literalmente 'doce', y no ζώδιων. De este modo diferencia el cinturón zodiacal (cinta de doce grados de anchura compuesta por las constelaciones de todos conocidas) del círulo que lo divide en dos mitades y que es el camino que sigue el Sol en su recorrido anual. Para 'eclíptica' Ptolomeo utiliza ὁ διὰ μέσων τῶν ζῳδίων (κυκλος), 'el [círculo] que va por el medio del zodíaco', o ὁ λόξος καὶ διὰ μέσων τῶν ζῳδίων, 'el círculo inclinado que va por la mitad del zodíaco'. (Véase la introducción de Toomer a su edición del *Almagesto.*)

recto tiene 90 [6], y una vez dividida la circunferencia del zodíaco en cortes iguales llámese a estos cortes con propiedad grados; y a los puntos en que se cortan el transportador y el zodíaco, denominémosles puntos equinocciales; a los distantes un cuarto de círculo a cada lado de éstos, trópicos, y de ellos, al que está inclinado hacia la Osa, de verano y extremo norte y al opuesto, de invierno y extremo sur; e, igualmente, de los equinoccios el que precede al trópico de verano según la revolución expresada, de primavera, y al que precede al de invierno, de otoño [7].

Se produce una revolución del universo cuando alguno de los puntos del transportador comienza a moverse a partir de un punto de los del ecuador fijo y por primera vez vuelve al mismo punto; y es evidente que esta vuelta periódica abarca 360 grados temporales. Pero puesto que los períodos de las revoluciones del universo no

---

[6] La notación numérica empleada en la antigüedad, en los contextos científicos, era sexagesimal o de base sesenta. Dicho sistema de numeración es el primero conocido que tiene la característica de ser posicional, lo que le concede innumerables ventajas con respecto a otros sistemas como el sustractivo o el acrofónico. En los *sistemas posicionales* el lugar que ocupa un símbolo numérico indica su valor y tiene la ventaja de que con muy pocos símbolos se pueden representar todas las expresiones numéricas que se quiera, por muy complejas que sean. Ptolomeo utiliza el sistema sexagesimal, sobre todo cuando quiere ser preciso, a la hora de representar fracciones. Sin embargo, también utiliza un sistema mixto según el cual emplea el sistema sexagesimal para las fracciones que acompañan a un número entero, pero éste lo representa mediante letras del alfabeto griego, como era habitual en contextos no científicos. Además cuando no le importa la precisión, expresa las fracciones según el sistema griego, consistente en emplear tan sólo fracciones en las que el numerador es la unidad. Así, por ejemplo, encontraremos que las fracciones del tipo 5/6 son expresadas como la suma de fracciones de numerador igual a uno (1/2 + 1/3). Hemos considerado conveniente mantener este tipo de expresiones numéricas en el texto, dando la correspondiente equivalencia allí donde nos ha parecido imprescindible. Con respecto a la notación sexagesimal, hemos utilizado la convención habitual de separar los enteros de las fracciones mediante ';' y las demás posiciones por ','. Por consiguiente, una expresión como '255; 0,54' es igual a $255 + \frac{0}{60} + \frac{54}{3600}$, esto es, 255,015 en nuestro sistema decimal.

[7] Estos son los círculos fundamentales que hay que distinguir en la esfera celeste. Véase, por ejemplo, la figura 3 de la Introducción.

se corresponden de forma clara, mientras que los de los días y las noches se determinan a partir del sol, mediremos con relación a éstos los demás movimientos. Un día y una noche es el tiempo en que el sol efectúa una sola vuelta sobre el equinoccio fijo a partir de la revolución del universo; y es evidente que si el sol no se moviese por la eclíptica, el día y la noche sería igual a la revolución del universo, pero puesto que está moviéndose hacia oriente, un día y una noche es más largo que la revolución del universo y comprende una revolución entera, es decir, 360 grados temporales, más una parte del equinoccial igual a la que en un día y una noche recorre el sol en el zodíaco, si suponemos que las rotaciones son uniformes [8].

Una vez esbozado esto, pasemos a continuación a las hipótesis de los planetas, exponiendo primero los períodos simples y que no se mezclan, a partir de los cuales se originan los particulares y compuestos, y tomaremos los períodos más aproximados de los calculados a partir de mis correcciones.

Así, pues, en 300 años egipcios y 74 días con sus noches el sol efectúa 300 períodos tomados en relación a los puntos de los trópi-

---

[8] Está estableciendo la diferencia entre día solar y día sidéreo. Este último es el tiempo que tarda una cierta estrella —o un determinado punto 'del universo'— en completar una revolución alrededor de la Tierra. Como señala Ptolomeo, el Sol, además de disfrutar del movimiento diurno de este a oeste, también se mueve por la eclíptica de oeste a este. Debido a ello, el día sidéreo es más corto que el día solar (unos cuatro minutos, según el patrón temporal actual). Este es el motivo por el que las estrellas que se ven al anochecer un día de verano son distintas a las que se ven en un anochecer de invierno. Esos cuatro minutos diarios que le faltan al día sidéreo para igualar al solar son 1.460 minutos anuales, un día aproximadamente, por lo que las estrellas visibles en verano serán visibles de nuevo cuando haya transcurrido un año y un día.

Por lo que se refiere a la palabra *día,* existe en griego la misma ambigüedad que en castellano, pues se utiliza la misma expresión, ἡμερα, tanto para el período de luz solar como para el tiempo que transcurre entre un amanecer y el siguiente o, como dice el *Diccionario de uso del español,* de María Moliner: «Espacio de tiempo que tarda el Sol en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra». (Esta definición resulta sumamente curiosa si tenemos en cuenta que hace casi quinientos años que Copérnico desalojó a la Tierra de su posición central en el Universo.)

cos y los equinoccios de la eclíptica, mientras que la esfera de las estrellas fijas y los apogeos de los cinco planetas hacen 1/120 parte de un período semejante, es decir, 3 partes de las 360 que contiene el círculo; de modo que en 36.000 de los mencionados años helíacos, que son 36.024 años egipcios y 120 días con sus noches, se cumple un solo período de la esfera de las fijas mientras que se dan 35.999 vueltas del sol y revoluciones del universo en número igual a los días y noches contenidos en el tiempo anteriormente dicho, aumentando con los períodos del sol en el mismo tiempo [9].

La Luna, en 8.523 años helíacos considerados en relación a los trópicos y equinoccios, que son 8.528 años egipcios y 277;20,24 días, hace 105.416 adelantamientos al sol, es decir, meses completos, y además en 3.277 meses enteros efectúa 3.512 vueltas en anomalía, y en 5.458 meses, 5.923 vueltas en latitud [10].

---

[9] El sistema cronológico de Ptolomeo se basa en el año egipcio. Este constaba de doce meses de treinta días cada uno más cinco días denominados epagómenos. Tot es el primero de los meses del año y también de la estación de las inundaciones, que constaba de otros tres meses más (Faofi, Atyr y Choick). A continuación estaban los cuatro meses del crecimiento o de la semilla (Tybi, Mechir, Famenot y Farmouti) y, por último, los meses del calor o la cosecha (Pachon, Payni, Epihi y Mesore). Según esas denominaciones, los meses parecen corresponder a una determinada época del año. Sin embargo, debido a que el año egipcio es aproximadamente un cuarto de día más corto que el solar, los meses del calendario egipcio se iban desplazando a lo largo del año, llegando a darse el caso de que un mes de la cosecha cayera en época de inundaciones o a la inversa. Sin embargo, y debido a su simplicidad, este calendario se impuso para uso astronómico hasta época bien tardía. En la vida cotidiana, cada ciudad tenía su propio calendario y de nada sirvieron los múltiples intentos de los astrónomos para elaborar un calendario que sirviera para fines astronómicos y cotidianos. La relación expresada entre año egipcio da un valor para aquél de 365,24667 días (véase n. 10 *infra*) y de 365,25681 días para el año solar sidéreo. Los valores modernos calculados para la época de Ptolomeo son 365,24220 y 365,25636 días, respectivamente.

Por lo que se refiere a la era, Ptolomeo no usa en las *Hipótesis* la era Nabonassar, cuyo comienzo corresponde al año 746 a. n. e., y que emplea en otros escritos astronómicos. Utiliza una mucho más cercana: retrotrae todos los movimientos de los planetas y sus modelos al primer año después de la muerte de Alejandro, ocurrida en el 323 a. n. e.

[10] En realidad el texto griego dice que la Luna efectúa 105.416 meses sinódicos en *8.528* años solares, mientras que en el texto árabe las cifras son 106.416 y *8.523,* respectivamente. Si se aceptan estas últimas cifras, el valor del mes sinódico resulta demasiado corto (29,253094 días frente al valor que

Igualmente, la estrella de Mercurio [11] en 993 años helíacos tomados respecto a los apogeos y a la esfera de las fijas, que son 993 años egipcios y 255; 0,54 días, aproximadamente hace 3.150 vueltas en anomalía.

La estrella de Venus en 964 años helíacos semejantes, que son 964 años egipcios y 247;33,2,45,23,40,28 días aproximadamente, hace 603 vueltas anómalas.

La estrella de Marte, en 1.010 años helíacos semejantes, que son 1.010 años egipcios y 259;22,50,56,16,27,50 días aproximadamente, hace 473 vueltas en anomalía.

La estrella de Júpiter en 771 años helíacos semejantes, que son 771 años egipcios y 198; 0,9,18,0,26,57 días, efectúa 706 vueltas anómalas.

La estrella de Saturno en 324 años helíacos semejantes, que son 324 años egipcios y 83;12,26,19,14,25,48 días aproximadamente, hace 313 vueltas en anomalía [12].

Ptolomeo le asigna en el *Almagesto,* 29;31,50,08,20, esto es, 29,530594). Si se acepta que el número de años solares es 8.528, el valor que dicha cifra arroja para el año solar es de 365,03252 días, muy alejado del que le adscribe Ptolomeo en el *Almagesto* ($365 + {}^1/_4 - {}^1/_{300}$ días o 365,24667 días). Además esas cifras serían inconsistentes con la relación expresada en la página 4. (Véase también nota 9 *supra.*) A lo largo del texto abundan las discrepancias de este tipo. Por lo general se ha adoptado la que se presenta en el texto griego tal y como fuera establecido en la edición de Heiberg, excepto cuando es claramente errónea, como en este caso.

Por lo que se refiere a los otros períodos lunares las relaciones expresadas por Ptolomeo conducen a los siguientes valores:

1 mes anómalo = 27,554603 días
1 mes dragónico = 27,212222 días

[11] Naturalmente, Ptolomeo no habla de Mercurio, Venus, etc., sino de Hermes (Mercurio), Afrodita (Venus), Ares (Marte), Zeus (Júpiter) y Crono (Saturno), anteponiéndoles siempre la expresión 'la estrella de'. Los correspondientes nombres árabes son: 'Aṭārid, al-Zahra, al-Mirrīj, Al-Muštari y Zuḥal.

[12] En la teoría ptolemaica, los dos componentes básicos del movimiento planetario están representados por el movimiento del centro del epiciclo sobre el deferente —que es el que describe el movimiento en longitud— y el del planeta en el epiciclo, esto es, la anomalía, que produce los fenómenos sinódicos, que están en una relación determinada con el Sol. Ptolomeo calcula las vueltas en anomalía para cada planeta; dicho de otro modo, computa cuántas vueltas dará cada planeta en el epiciclo en un cierto número de años halíacos, que es jus-

En cuanto a la esfera del Sol, piénsese en el plano de la eclíptica un círculo excéntrico situado de tal manera que la recta que parte de su centro tiene una relación de 60 a 2 $^1/_2$ con respecto a la que está entre su centro y el del zodíaco; y que la recta trazada a través de ambos centros y del apogeo del círculo excéntrico corta la circunferencia del zodíaco en un arco de 65 $^1/_2$°, desde el equinoccio de primavera en el sentido de los signos del universo [13]. Supongamos que el centro del Sol se mueva en el círculo excéntrico mencionado de occidente a oriente con una velocidad constante en torno al centro de este círculo, de forma que en los primeros 37 días añadidos a 150 años egipcios complete 150 vueltas periódicas al apogeo de la excéntrica y que la esfera de las fijas se mueva en torno al centro del zodíaco y sus polos hacia oriente a velocidad constante y en el tiempo dicho, 1 $^1/_2$° de los 360° que tiene el zodíaco.

Por tanto, en el primer año después de la muerte de Alejandro el fundador, el primer día del mes egipcio Tot, al mediodía en Alejandría, el Sol dista del apogeo del círculo excéntrico, según la se-

---

tamente su período sinódico: el tiempo que tarda el planeta en volver a su posición inicial para un observador situado en la Tierra, y los resultados obtenidos son los siguientes, que concuerdan con las estimaciones actuales:

Mercurio	115,07905...	días
Venus	583,92629...	días
Marte	779,93527...	días
Júpiter	398,88527...	días
Saturno	378,09331...	días

[13] Ptolomeo dice que los cielos se mueven de este a oeste, para lo cual utiliza la expresión εἰς τὰ προηγούμενα, usando εἰς τὰ ἑπόμενα para el movimiento contrario. Sin embargo, no sería adecuado traducir 'hacia el oeste' y 'hacia el este', respectivamente, pues para ello Ptolomeo usa expresiones inequívocas (δυσμαί y ἀνατολαί), que se limitan a situaciones en las que está implicado un observador terrestre. Además, Ptolomeo utiliza a veces las expresiones εἰς τὰ προηγούμενα τῶν ζῳδίων (y la contraria) para referirse al movimiento en la eclíptica, en donde los cuerpos se mueven de oeste a este, por lo que el movimiento hacia el este se describe como 'hacia atrás' y el movimiento hacia el oeste como 'hacia delante». Hemos optado por traducir 'en el sentido de los signos' (hacia el oeste) y 'en el sentido contrario a los signos' (hacia el este), para una más rápida comprensión del texto, pero hay que tener en cuenta que el uso de tales expresiones no conlleva la utilización de coordenadas eclípticas.

cuencia de los signos 162;20°, mientras que la estrella situada en el corazón del León desde el equinoccio de primavera distaba, igualmente según la secuencia de los signos del zodíaco, 117;54° [14].

Y con respecto a la esfera de la Luna imaginemos de nuevo un círculo homocéntrico con la eclíptica que se mueve en su plano y en torno a su mismo centro con velocidad constante, de oriente a occidente, pero con un exceso de rotación en latitud igual al del Sol en el mismo tiempo, de forma que en 37 años egipcios y en los primeros 88 días completos efectúa aproximadamente dos vueltas al zodíaco, pues en un cálculo exacto emplea un minuto más. Supongamos que este círculo lleve otro círculo inclinado sobre él en torno al mismo centro inmóvil y con una inclinación que abarca un ángulo de cinco partes de aquellas de las que un ángulo recto contiene 90. En el plano mencionado del círculo oblicuo supongamos que hay un círculo excéntrico de forma que la recta que va desde su centro respecto a la situada entre los centros de él y del zodíaco tiene una relación de 60 a 12 $^1/_2$, y supongamos que el centro del círculo excéntrico se mueve en torno al centro de la eclíptica con velocidad constante de oriente a occidente desde el límite norte, con un exceso en virtud del cual la rotación duplica la distancia media del Sol de la rotación en latitud en el mismo tiempo sobre el círculo del zodíaco, de manera que en 17 años egipcios más 348 días completos efectúa aproximadamente 203 vueltas en el círculo oblicuo, aunque en un cálculo exacto le falta 0;2 partes de un grado. Imaginemos que el centro del epiciclo se mueve de occidente a oriente desde el apogeo del círculo excéntrico, manteniendo continuamente su posición sobre éste y el doble de la distancia media, es decir, los dos mencionados antes, de forma que en 19 años egipcios y en los primeros 300 días completos ejecuta 490 vueltas en el círculo excéntrico aproximadamente, pues en un cálculo exacto emplea 4 minutos más.

---

[14] Este es el modelo solar. Ptolomeo expone sus parámetros: la excentricidad de la órbita solar es de 2 $^1/_2$°, siendo 60 la unidad; la longitud del apogeo es de 65 $^1/_2$°. También presenta la posición que ocupa la estrella en un momento y lugar determinado, para poder calcular a partir de ahí todos sus movimientos, algo que repetirá para las otras seis estrellas. Sobre el modelo solar, véanse las pp. 27-29 de la introducción.

Por lo demás, en torno al mencionado centro del epiciclo que está en el plano del círculo oblicuo y de la recta que pasa a través de ambos centros, de él y de la eclíptica, [la Luna] [15] se mueve a velocidad constante, manteniendo la recta los mismos signos del circulito que llamamos apogeo y perigeo, de forma que la recta que va desde el centro del círculo excéntrico tiene una relación con respecto a la del centro del epiciclo de 60 a 6 $^1/_3$. Establezcamos que el centro de la Luna vaya siempre a velocidad constante hacia occidente desde la intersección del apogeo según el propio movimiento de anomalía de forma que en 26 años egipcios y 99 días completos efectúa 347 vueltas sobre el epiciclo aproximadamente, ya que en un cálculo exacto le falta 0;1°.

En el mismo primer año después de la muerte de Alejandro, en el primer día del mes egipcio Tot, al mediodía en Alejandría, el límite norte del círculo oblicuo dista del equinoccio de primavera en el sentido de los signos del universo 230;19°; pero el centro del epiciclo está a 261;32° del apogeo del círculo excéntrico, en el sentido contrario a los signos del universo, y el centro de la Luna dista del apogeo del epiciclo, en el sentido de los signos del universo, 85;36° [16].

Con respecto a la esfera de Mercurio, piénsese un círculo homocéntrico a la eclíptica que se mueva en su plano y en torno al mismo centro, de occidente a oriente, igual que la esfera de las fijas, y que este círculo transporte otro círculo inclinado con respecto a él, en torno al mismo centro, inmóvil, conteniendo la inclinación de los planos un ángulo de 1/6 parte de las que uno recto tiene 90. Y que en el plano del círculo oblicuo exista un diámetro que pase por el límite norte y por el sur; y sobre él, entre el centro del zodíaco y el

---

[15] Las expresiones que aparecen entre corchetes se han añadido con el fin de hacer más inteligible el texto, o bien estaban incorporadas como tales adiciones en el manuscrito.

[16] Véase el modelo lunar en las pp. 33-35 de la introducción. Obsérvese que uno de los parámetros más difíciles de calcular, el radio del epiciclo, está dado en este y en los demás modelos. La excentricidad de la órbita lunar es de 12 $^1/_2$°, diferente a la que aparece en el *Almagesto* (12;28 ó 12,466667). La inclinación del epiciclo se corresponde con la máxima desviación lunar en latitud, 5°. Por último, el radio del epiciclo es de 6 $^1/_3$°, siendo 60 la unidad.

límite sur, tómense dos puntos cerca del centro del zodíaco y en torno a su máximo apogeo muévase a velocidad constante el centro del círculo excéntrico en el sentido de los signos del universo desde el apogeo de la excéntrica con un exceso como el que sobrepasa la rotación del Sol a la de las fijas en el mismo tiempo, de forma que en 144 años egipcios más 37 días completos haga 144 vueltas periódicas aproximadamente, pues en un cálculo exacto tarda 0;2° más. Y en torno al lugar de máximo perigeo muévase el centro constante del epiciclo en el sentido contrario a los signos del universo, desde el apogeo de la excéntrica, manteniendo siempre, sin embargo, la posición sobre el círculo excéntrico y un movimiento igual al mencionado, de forma que en 144 años egipcios más 37 días completos haga 144 vueltas periódicas respecto a la excéntrica aproximadamente, pues en un cálculo exacto tarda 0;2° más. Y que, considerando que la línea que parte del centro del círculo excéntrico tiene 60 partes, la que está entre el centro de la eclíptica y el máximo perigeo de los dos puntos tenga 3 de esas partes y $5\,^1/_2$ la que está entre el centro del zodíaco y el máximo apogeo de los dos puntos, y $2\,^1/_2$ la que está entre el punto del máximo apogeo y el centro del círculo excéntrico. E imagínese también un circulito en torno al centro de la esfera del epiciclo en el plano del círculo oblicuo y que la recta que atraviesa ambos centros, el de éste y el del máximo perigeo de los puntos en torno al cual se mueve a velocidad constante, recorra siempre los mismos puntos del circulito, los que llamamos apogeo y perigeo; e imaginemos otro circulito homocéntrico con él, que se mueve en el mismo plano y en torno al mismo centro con velocidad constante y que efectúa una separación del apogeo en el sentido de la revolución del universo y la misma rotación que la mencionada del centro del círculo excéntrico o del epiciclo; y que este circulito transporte otro inclinado con respecto a él y en torno al mismo centro, inmóvil, abarcando su inclinación y ángulo de 6;30 de aquellas partes de las que uno recto tiene 90 y que la línea que va del centro del círculo excéntrico respecto a la que va desde el centro del circulito tenga una relación de 60 a 22;4 y sobre este circulito muévase la estrella en torno a su centro con velocidad constante, efectuando un cambio de posición del apogeo en sentido contrario a la

revolución del universo, y con una rotación igual tanto a la del centro del círculo excéntrico como a la del epiciclo y a la de la anomalía de la estrella, de forma que en 208 años egipcios y en los primeros 174 días completos efectúe 865 vueltas con respecto al epiciclo oblicuo aproximadamente, pues en un cálculo exacto tarda 0;4° más.

Y a la vez, en el primer año después de la muerte de Alejandro, en el primer día del mes egipcio Tot, al mediodía en Alejandría, el máximo apogeo de la excentricidad distaba del equinoccio de primavera, en el sentido contrario a los signos del universo, 185;24°, e igualmente el límite norte estaba a 5;24°; y el centro del círculo excéntrico distaba del apogeo de la excéntrica, en el sentido de los signos del universo, 52;16° y el centro del epiciclo distaba del apogeo de la excéntrica, en el sentido contrario a los signos del universo, igualmente 42;16°, y a la vez el límite norte del circulito oblicuo distaba del apogeo del epiciclo, en el sentido de los signos del universo, 132;16°, y la estrella distaba del límite norte del circulito oblicuo, en el sentido contrario a los signos del universo, 346;41° [17].

Con respecto a la estrella de Venus, imagínese otra vez un círculo homocéntrico al círculo de la eclíptica, que se mueve en su plano y en torno al mismo centro a velocidad constante de occidente a oriente, lo mismo que la esfera de las fijas, y que este círculo transporte otro círculo inclinado con respecto a él y en torno al mismo centro inmóvil, y que la inclinación de los planos contenga un ángulo de 1/6 parte de las que uno recto tiene 90. Y que en el plano del círculo inclinado haya un diámetro que atraviese los límites norte y sur, y sobre él, entre el centro de la eclíptica y el límite norte, dos puntos que comprenden una recta igual a la que hay entre el centro del zodíaco y el punto más próximo a él; y en torno al punto de máximo perigeo un círculo excéntrico e inmóvil, y que la recta que va desde su centro hasta la que está entre los centros de éste y de la eclíptica tenga una relación de 60 a 1 [18]; y el centro del epici-

[17] Véanse pp. 32-33 de la introducción y nota 26 *infra*.

[18] Según el manuscrito árabe, pues en el texto griego no aparece; sin embargo, el valor que aparece en el *Almagesto* es de 1 $^1/_4$, por lo que éste es el valor que hemos adoptado en el cuadro de la nota 26 *infra*.

clo, que mantiene su posición siempre sobre el círculo excéntrico, se mueve en torno al punto de máximo apogeo a velocidad constante, en el sentido contrario a los signos del universo y en torno al mencionado diámetro, excediendo lo que el movimiento del Sol sobrepasa al de las fijas en el mismo tiempo. E imagínese de nuevo, también en la esfera del epiciclo, un circulito en torno a su centro en el plano del círculo oblicuo, y que la recta que va a través de ambos centros, esto es, el suyo y el del punto de máximo apogeo de los dos mencionados en torno al cual se mueve a velocidad constante, comprenda los mismos puntos siempre sobre el circulito, los que llamamos apogeo y perigeo; e imagínese también otro circulito homocéntrico que es transportado en el mismo plano y en torno al mismo centro a velocidad constante y que el apogeo se mueva en la misma dirección que la revolución del universo y ejecute el mismo recorrido que el mencionado del centro del epiciclo; y que este circulito transporte otro inclinado con respecto a él y en torno al mismo centro inmóvil cuya inclinación contenga un ángulo de $3\,^1/_2$ partes de las que uno recto tiene 90; y que la línea que va desde el centro del círculo excéntrico respecto a la que va desde el centro del circulito tenga una relación de 60 a $43\,^1/_6$; y que en torno al centro de este circulito se mueva la estrella a velocidad constante, cambiando la posición del apogeo en dirección contraria a la revolución del universo y en el mismo sentido que el epiciclo y la estrella, de forma que en 35 años egipcios y los primeros 33 días completos haga 57 vueltas periódicas aproximadamente, pues en un cálculo exacto tarda 0;1° más.

Y en el primer año después de la muerte de Alejandro, en el primer día del mes egipcio Tot, al mediodía en Alejandría, el punto de máximo apogeo de la excéntrica dista del equinoccio de primavera, en el sentido contrario a los signos del universo, 50;24°, y otro tanto el límite norte; y el centro del epiciclo dista del apogeo de la excéntrica, en sentido contrario a los signos del universo, 177;12°, y, a su vez, el límite norte del circulito oblicuo dista del apogeo del epiciclo, en el sentido de los signos del universo, 87;10°, y la estre-

lla dista del límite norte del circulito oblicuo, en el sentido contrario a los signos del universo, 168;30° [19].

Con respecto a la esfera de Marte, imagínese de la misma manera un círculo homocéntrico a la eclíptica que es transportado en su plano y en torno al mismo centro a velocidad constante, de occidente a oriente, igual que la esfera de las fijas; y que este círculo transporte otro círculo inclinado con respecto a él, pero con el mismo centro inmóvil, y que la inclinación de los planos contenga un ángulo de $1 + {}^1/_2 + {}^1/_3$ partes de las que uno recto tiene 90 [20], y que en el plano del círculo oblicuo haya un diámetro que vaya a través de los límites norte y sur y sobre éste, entre el centro de la eclíptica y el límite norte, dos puntos que comprenden una recta igual a la que hay entre el centro de la eclíptica y el más próximo de los dos puntos; y que en torno al punto de máximo perigeo haya un círculo excéntrico e inmóvil y que la recta que va desde su centro respecto a la que va entre este centro y el de la eclíptica tenga una relación de 60 a 6; e imaginemos en torno al punto de máximo apogeo, que se mueve a velocidad constante, el centro del epiciclo, que mantiene siempre su posición sobre el círculo excéntrico en el sentido contrario a los signos del universo y en torno al mencionado diámetro con un exceso igual al de la rotación del Sol con respecto a las rotaciones de las fijas y de la estrella en el mismo tiempo, de forma que en 95 años egipcios y en los primeros 361 días completos hace 51 vueltas periódicas aproximadamente, pues en un cálculo exacto le faltan 0;3°. E imagínese de nuevo también en la esfera del epiciclo un circulito en torno a su centro y en el plano del círculo oblicuo, y que la recta que va a través de ambos centros, el de él y el del punto de máximo apogeo de los dos mencionados, en torno al cual es movido a velocidad constante, comprende siempre los mismos puntos sobre el circulito, los que llamamos apogeo y perigeo; y otro circulito homocéntrico con él transportado en el mismo plano y en torno al mismo centro a velocidad constante y que efectúa un

---

[19] Sobre el modelo de Venus, véanse las pp. 30-31 de la introducción y la nota 26 *infra*.

[20] Esto es, la inclinación es de 1;50° (1,8333...°), pero en el texto árabe aparece 4;50° (4,8333...°).

cambio de posición del apogeo en sentido contrario a la revolución del universo y el mismo recorrido que el mencionado del centro del epiciclo; y que este circulito transporte otro inclinado con respecto a él y en torno al mismo centro, inmóvil, cuya inclinación contenga un ángulo de $1 + {}^1/_2 + {}^1/_3{}^\circ$ de aquellos de los que uno recto tiene 90; y la recta que va desde el centro del círculo excéntrico respecto a la que va desde el centro del circulito tiene una relación de 60 a $39\,{}^1/_2$; y sobre este circulito muévase la estrella en torno a su centro a velocidad constante efectuando un cambio de posición del apogeo en sentido contrario a la revolución del universo, y con un recorrido igual al del epiciclo y al de la estrella, esto es, al exceso de la rotación del Sol con respecto al de las fijas en el mismo tiempo.

En el primer año después de la muerte de Alejandro, y en el primer día del mes egipcio Tot al mediodía en Alejandría el punto de máximo apogeo de la excéntrica distaba del equinoccio de primavera, en el sentido contrario a los signos del universo 110;44° y otro tanto el límite norte, y el centro del epiciclo distaba del apogeo de la excéntrica, en el sentido contrario a los signos del universo, 356;20° y a su vez el límite norte del circulito oblicuo distaba del apogeo del epiciclo, en el sentido de los signos del universo, 176;20°, y la estrella distaba del límite norte del círculo oblicuo, en el sentido contrario a los signos del universo, 296;46° [21].

Por lo que respecta a la esfera de Júpiter, imagínese un círculo homocéntrico a la eclíptica, transportado en su plano y en torno al mismo centro con velocidad constante de occidente a oriente, igual al de la esfera de las fijas y que este círculo transporte otro inclinado con respecto a él y en torno al mismo centro, inmóvil, y que la inclinación de los planos contenga un ángulo de $1\,{}^1/_2$ partes de aquellas de las que 90 forman uno recto; y en el plano del círculo oblicuo,

---

[21] Con relación al modelo de Marte y sus parámetros, véanse las pp. ..... de la introducción y la nota 26 *infra*.

Hay que señalar que en estas cifras hay de nuevo discrepancias. Según el texto árabe, el apogeo de la excéntrica distaba del equinoccio de primavera en la fecha indicada 110;54° (110,9°) y el centro del epiciclo distaba del apogeo de la excéntrica 350;7° (356,11667°).

imagínese una recta desde el centro del zodíaco hasta un punto que precede 20° al límite norte, y en esta recta sitúense dos puntos que comprenden una recta igual a la que hay entre el centro de la eclíptica y el más próximo de los dos puntos; y en torno al punto de máximo perigeo de los dos puntos imagínese un círculo excéntrico e inmóvil, y la recta que va desde su centro respecto a la que va entre su centro y el del zodíaco tiene una relación de 60 a $2 + {}^{1}/_{2} + {}^{1}/_{4}$[22], y en torno al punto de máximo apogeo muévase a velocidad constante el centro del epiciclo manteniendo su posición siempre sobre el círculo excéntrico mencionado, en el sentido contrario a los signos del universo, y en torno al mencionado diámetro con un exceso igual al de la rotación del Sol con respecto a las rotaciones de las fijas y de la estrella en igual tiempo, de forma que en 213 años egipcios y en los primeros 238 días completos hace 18 vueltas periódicas aproximadamente, pues en un cálculo exacto tarda 0;1° más. Y, a su vez, en la esfera del epiciclo imagínese un circulito en torno al centro de dicha esfera, en el plano del círculo oblicuo, y una recta que va a través de ambos centros, el de él y el del punto de máximo apogeo de los dos mencionados, en torno al cual es movida a velocidad constante, y que comprende siempre los mismos puntos sobre el circulito, los que llamamos apogeo y perigeo, y otro circulito homocéntrico con respecto a él que es transportado en el mismo plano y en torno al mismo centro a velocidad constante y que efectúa un cambio de posición del apogeo en el mismo sentido que la revolución del universo y una rotación igual a la mencionada del centro del epiciclo; e imagínese que este circulito transporte otro inclinado con respecto a él y en torno al mismo centro inmóvil, y cuya inclinación contenga un ángulo de $1\ {}^{1}/_{2}$ partes de aquellas de las que uno recto tiene 90; y que la recta que va desde el centro del círculo excéntrico respecto a la que va desde el centro del circulito tenga una relación de 60 a $11\ {}^{1}/_{2}$. Y sobre este circulito muévase la estrella en torno a su centro a velocidad constante, efectuando un cambio de posición del apogeo, en sentido contrario a la revolución del universo y una rotación igual a la del epiciclo y a la de la estrella, lo

[22] Esto es, 2 + 3/4 6 2,75. Véase nota 26 *infra*.

que equivale a su vez a un exceso igual al de la rotación del Sol con respecto a la de las fijas en el mismo tiempo [23].

En el primer año después de la muerte de Alejandro y en el primer día del mes egipcio Tot al mediodía en Alejandría, el punto de máximo apogeo de la excéntrica distaba del equinoccio de primavera, en el sentido de los signos del universo, 156;24°, el centro del epiciclo distaba del apogeo de la excéntrica, en el sentido contrario a los signos del universo, 292;43°; y, a la vez, el límite norte del círculo oblicuo distaba del apogeo, en el sentido contrario a los signos del universo, 92;43°, y la estrella distaba del límite norte del circulito oblicuo, en el sentido contrario a los signos del universo, 231;31° [24].

Por lo que se refiere a la esfera de Saturno, imagínese un círculo homocéntrico con la eclíptica transportado en su plano y en torno al mismo centro a velocidad constante de occidente a oriente, igual que la esfera de las fijas, y que este círculo transporte otro inclinado con respecto a él y en torno al mismo centro inmóvil, y que la inclinación de los planos contenga un ángulo de 2 $^1/_2$ de aquellos de los que 90 forman uno recto. Y en el plano del círculo oblicuo imagínese una recta desde el centro de la eclíptica hasta el punto que queda 40° hacia atrás desde el límite norte [25] y que en ella existan dos puntos que comprenden una recta igual a la que hay entre el centro de la eclíptica y el más cercano de los dos puntos; y en torno al punto de máximo perigeo de los dos puntos imagínese un círculo excéntrico e inmóvil, y que la recta que va desde su centro respecto a la que va entre su centro y el de la eclíptica tenga una relación de 60 a 3; y en torno al punto de máximo apogeo muévase a velocidad constante el centro del epiciclo manteniendo siempre la posición sobre el mencionado círculo excéntrico, en el sentido contrario a los signos del universo, y en torno al mencionado diámetro, con un exceso igual al que tiene la rotación del Sol con respecto a la

---

[23] Véanse pp. 31-32 de la introducción y nota 26 *infra*.

[24] El texto árabe afirma que el punto de máximo apogeo de la excéntrica se halla a 176;24° (176,4°) del equinoccio de primavera, el centro del epiciclo a 292;23° (292,38333° del apogeo de la excéntrica y la estrella a 231;16° (231,26667°) del límite norte del circulito oblicuo.

[25] Así, pues, Ptolomeo sitúa la parte alta del deferente 10° más al este que en el *Almagesto*.

de las fijas y la estrella en el mismo tiempo, de forma que en 117 años egipcios más los 330 días completos efectúa cuatro vueltas aproximadamente, pues en un cálculo exacto emplea 0;1° más.

Y, a su vez, en el epiciclo de la esfera, imagínese un circulito en torno a su centro y en el plano del círculo oblicuo, y además una recta que une su centro y el punto de máximo apogeo, en torno al cual se mueve a velocidad constante y que comprende los mismos puntos siempre sobre el circulito, los que llamamos apogeo y perigeo; e imagínese otro circulito homocéntrico transportado con él en el mismo plano y en torno al mismo centro a velocidad constante, efectuando un cambio de posición del apogeo en el mismo sentido que la revolución del universo y una rotación igual a la del centro del epiciclo; y que este circulito transporte otro inclinado con respecto a él y en torno al mismo centro, inmóvil, cuya inclinación contenga un ángulo de 2 $^1/_2$° de aquellos de los que 90 forman uno recto; y que la recta que va desde el centro del círculo excéntrico respecto a la que va desde el centro del circulito tenga una relación de 60 a 6 $^1/_2$; y sobre este circulito y en torno a su centro muévase la estrella a velocidad constante, efectuando desde el apogeo un cambio de posición en sentido contrario a la revolución del universo y una rotación igual a la de ambas, a la del epiciclo y a la de la estrella, es decir, excediendo de nuevo lo mismo que sobrepasa la revolución del Sol a la de las fijas en el mismo tiempo.

En el primer año después de la muerte de Alejandro, en el primer día del mes egipcio Tot, a mediodía en Alejandría, el punto de máximo apogeo de la excéntrica distaba del equinoccio de primavera, en el sentido contrario a los signos del universo, 228;24°; el centro del epiciclo distaba del apogeo de la excéntrica, en el sentido contrario a los signos del universo, 210;38°; y, a su vez, el límite norte del circulito oblicuo distaba del apogeo, en el sentido contrario a los signos del universo, 70;38°, y la estrella distaba del límite norte del circulito oblicuo, en el sentido contrario a los signos del universo, 219;16° [26].

---

[26] A continuación exponemos de forma conjunta algunos de los parámetros de los cinco planetas.

e = excentricidad
i_d = inclinación del deferente con respecto a la eclíptica
r = radio del epiciclo (siendo 60 la unidad)
i_e = inclinación del epiciclo con respecto al deferente
r_c = radio del circulito
P = período trópico

	e	i_d	r	i_e ***	r_c	P
Mercurio	60 a 3	1/6°	22,30	6,30°	2 1/2°	1 año tróp.
Venus	60 a 1 1/4 *	1/6°	43 1/6	3,30°		1 año tróp.
Marte	60 a 6	1 1/2 1/3°	39 1/2	1 1/2 1/3		686,98039 d.
Júpiter	60 a 2 3/4	1 1/2°	11 1/2	1 1/2°		4332,3889 d. (11,86... años)
Saturno	60 a 3 **	2 1/2°	6 1/2	2 1/2°		10.758 d. (29,45... años)

* Véase nota 16 *supra*.
** 60 a 3;25 en el *Almagesto*.
*** Obsérvese que en el caso de los planetas superiores $i_e = i_d$. También hay que señalar que, al contrario de lo que sucedía en el *Almagesto*, la inclinación del epiciclo con respecto al deferente ya no oscila en el caso de Mercurio y Venus, simplicándose notablemente la teoría de las latitudes.

LIBRO PRIMERO: PARTE II [27]

Estas son las formas de los planetas en sus esferas. Como hemos dicho, la causa por la que aparecen anomalías en los movimientos celestes no se basa en las estrellas fijas; lo que sucede es que esta esfera se mueve de forma similar al movimiento universal, cuya naturaleza debe ser simple, que no se mezcle con nada y que en modo alguno reciba situaciones contrarias. Todos los planetas que se en-

---

[27] Aquí comienza la parte de las *Hipótesis de los planetas* descubierta por Goldstein (véanse pp. 15-17 de la introducción).

El manuscrito utilizado para esta versión es el B. M. British Museum, M. S. aráb., núm. 426 (Add. 7473), fols. 81[b]-102[b]. En él aparecen también las variantes del manuscrito de Leiden (L. Leiden, M. S. arab. 1115 [cód. 180 Gol.], fols. 1.[a]-44.[a]. (La parte II del Libro Primero comienza en el folio 88.[a],4.)

En el B. M., núm. 426, de escritura oriental, que contiene los libros I y II de *Las hipótesis de los planetas,* de Ptolomeo, hemos encontrado las siguientes características: falta de puntos diacríticos y signos auxiliares (tasdid, hamza tras fatha larga, madda...), que dificulta la lectura y posterior traducción del manuscrito; por ejemplo, a menudo se ofrecen formas arcaicas de los numerales...; otras veces aparecen puntos diacríticos completamente superfluos. Estas características son también aplicables al libro II, al definir los modelos de movimientos de los planetas, pues al carecer de los dibujos aclaratorios, de una parte, y de la mayoría de los puntos diacríticos, de otra, hace sumamente laboriosa, e incluso imposible a veces, la identificación de líneas, puntos y esferas a que Ptolomeo se refiere en cada momento. *(N. de la Traductora.)*

cuentran afectados por este movimiento [el movimiento universal] se mueven con él de este a oeste y a los lados, es decir, de delante hacia atrás, a la derecha y al norte, que son las direcciones del movimiento local. El movimiento local es el primero de todos los movimientos y cosas cuya naturaleza es eterna, únicamente allí se encuentra este movimiento; es la causa de las alteraciones y contradicciones cualitativas y cuantitativas existentes en las cosas que no son eternas y origina cambios que no se producen del mismo modo en las cosas eternas, tal como nos parece en apariencia, pues se producen en su propio ser y en su sustancia [28].

Respecto al Sol pensamos que tiene una sola anomalía que se aprecia en su movimiento en la eclíptica, porque no existe nada más fuerte que el Sol en todo cuanto se mueve y le dé otra anomalía en su trayectoria. Los restantes planetas tienen dos tipos de anomalías: la primera, similar a la que hemos citado según su posición en la eclíptica, y la segunda, según su retorno al Sol. Cada uno de los planetas tiene un movimiento voluntario y un movimiento al que está obligado. El movimiento [de los planetas] se da en las dos direcciones [Norte y Sur] con respecto a la esfera de las estrellas fijas y con relación a la del Sol, también con la forma sencilla de la inclinación de la eclíptica con respecto al ecuador.

En la Luna se dan dos variedades [de movimiento]: la primera, que ya hemos citado, y la segunda, que es la inclinación de su órbita respecto a la eclíptica. Los cinco planetas tienen tres tipos [de movimientos] y éste es el mayor número de anomalías que se pueden presentar; dos de ellos los hemos citado y el tercero es debido a la inclinación del deferente, que gira alrededor de la Tierra, con respecto al epiciclo. La característica de estos epiciclos es similar a la de los restantes deferentes en todas sus situaciones. Pero se puede imaginar que entre unos y otros existen anomalías, pues los epiciclos no giran alrededor de la Tierra, ya que ésta se encuentra fuera de ellos. Por esa causa se transforman los deferentes, pudiéndose pen-

[28] Obsérvese cómo aquí la exposición de los movimientos planetarios atiende a características físicas en vez de matemáticas, al contrario de lo que sucedía en la parte primera del libro I.

sar que se mueven y se trasladan en dos direcciones opuestas, mientras que el movimiento de estas esferas epicíclicas se da en planos paralelos a la eclíptica. La inclinación [del epiciclo con respecto al deferente] es fija, como lo es la de la eclíptica respecto al plano del ecuador [29].

Si llamamos apogeo a la intersección de [la eclíptica con] la parte de arriba de un meridiano de la Tierra y al de debajo de la Tierra lo denominamos perigeo, entonces la distancia del horizonte, en ambas direcciones, es la distancia media. La inclinación de la eclíptica es una en sí misma y no cambia. El movimiento de esta esfera inclinada respecto al ecuador tiene lugar en torno a sus polos. El límite norte de esta esfera es el solsticio de verano, que unas veces está en la intersección análoga al apogeo, otras en el perigeo, otras al este y otras al oeste. De igual forma, el límite sur es el solsticio de invierno. El punto vernal es análogo al nodo ascendente, que también puede estar en la intersección del apogeo, otras veces en la del perigeo, al este o al oeste. Lo mismo sucede al punto otoñal, que es análogo al nodo descendente. De la misma forma nos podemos imaginar cada una de las condiciones de la esfera inclinada que rodea la Tierra. Por lo que se refiere a la esfera de la Luna, tiene características semejantes a las mencionadas, similar a lo que sucede con las esferas excéntricas que se inclinan con respecto a los epiciclos [30].

Cuando queramos desviarnos del primer tipo [de inclinación] al segundo que le sigue sólo necesitaremos sustituir el ecuador por la eclíptica y la eclíptica por el deferente. En el tercer tipo de inclinación que se produce fuera de la Tierra, el ecuador es similar al epiciclo fijo, y la eclíptica, similar al deferente. El movimiento varía de la forma que describiré.

---

[29] Ptolomeo incide de nuevo en cuestiones que constituyen una innovación de las *Hipótesis* con respecto al *Almagesto* y una mejora y simplificación de la teoría de las latitudes. Por un lado, la inclinación del deferente es fija, no oscila, ni tampoco lo hacen los epiciclos con respecto al deferente; además, ahora los planos de los epiciclos son paralelos al plano de la eclíptica.

[30] Véase, por ejemplo, la figura 3 de la introducción.

Vemos que las esferas que rodean la Tierra, en las que se mueven el Sol, el centro del epiciclo, la Luna o los planetas, retornan según sus períodos. Los epiciclos efectúan la misma vuelta que los centros de las esferas epicíclicas, no según el planeta que se mueve sobre ellas; ésta es la manera en que se mueve cada una de las esferas.

La ordenación de unas [esferas] con respecto a otras ha suscitado dudas hasta ahora. La esfera de la Luna es la más cercana a la Tierra ;la esfera de Mercurio está más cercana a la Tierra que la de Venus, Venus más cerca que Marte, Marte más que Júpiter, éste más que Saturno y Saturno más que la esfera de las estrellas fijas. Al observar la trayectoria de los planetas parece evidente que unas esferas están más próximas a la Tierra y otras más alejadas, según una línea recta que salga del ojo. Las esferas de los cinco planetas pueden estar más elevadas que la esfera del Sol, o encima de la esfera de la Luna, o bien que se hallen debajo de la esfera del Sol, o bien que unas estén más elevadas y otras más bajas, y de esta cuestión no podemos hablar con certeza [31].

Precisar las distancias de los cinco planetas no es igual de fácil que conocer las distancias de las dos luminarias, porque las distancias de éstas se determinan por las precisiones de las combinaciones de los eclipses. Por lo que respecta a los cinco planetas, no se puede argumentar de la misma forma, ya que no se produce ningún fenómeno que permita fijar las pruebas de la paralaje; no hemos visto,

---

[31] En un principio parece que Ptolomeo va a tomar la misma actitud con respecto al orden de los planetas que en el *Almagesto*: «Por lo que se refiere a las esferas de Venus y Mercurio, vemos que los astrónomos más antiguos las colocan por debajo de la del Sol, pero que otros después de ellos las sitúan por encima, debido a que el Sol nunca ha sido oscurecido por ellas [Venus y Mercurio]. Para nosotros, sin embargo, ese criterio parece tener un elemento de incertidumbre, ya que es posible que algunos planetas puedan estar de hecho por debajo del Sol, sin estar siempre, sin embargo, en uno de los planos que hay entre el Sol y nuestro observador, sino en otro y, por consiguiente, podría no vérseles pasar por delante de él, igual que en el caso de la Luna, cuando pasa bajo [el Sol] en la conjunción, no produciéndose oscuración en la mayoría de los casos» (*Almagesto,* IX, 1). Pero a continuación Ptolomeo aduce nuevas razones para optar por el orden que adopta (véase nota 34 *infra*).

antes de este tiempo, una ocultación del Sol [por alguno de los planetas], y por esta causa el hombre puede imaginar que las esferas de los cinco planetas están más elevadas que la esfera del Sol. A quien desee conocer la verdad no le queda claro cuanto hemos dicho primeramente, porque al ocultar un cuerpo pequeño [el planeta] al grande [el Sol], no es perceptible tal ocultación por lo poco que oculta y la situación del resto del cuerpo solar que permanece expuesto. Cuando se produce un eclipse solar, y la Luna oculta una parte del Sol igual o mayor al diámetro de uno de los planetas, entonces el eclipse no es perceptible. Además, sólo se produce tal fenómeno en largos períodos de tiempo, y se da al estar el apogeo y perigeo del epiciclo más próximo al Sol; pero [el planeta] se encuentra en el plano de la eclíptica dos veces en cada órbita del epiciclo, al trasladarse de norte a sur y de sur a norte. Cuando el centro del epiciclo está en uno de los nodos, y el planeta también está en este nodo, entonces el planeta está en el apogeo o en el perigeo, y puede suceder que el planeta oculte [parte del Sol]. De acuerdo con los que describen las observaciones y las examinan cuidadosamente, transcurre mucho tiempo antes de que finalice la vuelta de estos dos, es decir, la vuelta del epiciclo y la vuelta de los planetas, y se produzcan conjunciones por encima de la Tierra. Con esta condición está claro que no se puede emitir un juicio cierto para los dos planetas, ni siquiera para los planetas en los que se está de acuerdo que se hallan por encima de la esfera del Sol, es decir, Marte, Júpiter y Saturno.

Comencemos por investigar la proporción de las distancias menores a las mayores, de lo que podremos deducir la ordenación de las esferas. Decidiremos establecer la esfera de cada uno de los planetas entre la distancia más lejana de la esfera más próxima a la Tierra y la distancia más próxima de la esfera que está más alejada [de la Tierra]. Nosotros sabemos que solamente la esfera de Mercurio y Venus están bajo la esfera del Sol, y las otras no lo están. Ya hemos explicado en el *Kitāb al-Sīṭaksıs [Almagesto]* que la menor distancia de la Luna es treinta y tres veces el radio de la Tierra, y que su mayor distancia es de sesenta y cuatro radios en términos

generales y adoptando los datos que se acerquen más a las cifras exactas [32].

La distancia menor del Sol es de mil ciento sesenta radios y su distancia mayor es de mil doscientos sesenta radios. La proporción de la distancia menor de Mercurio a su distancia mayor es de 34 a 88, aproximadamente; queda claro que, al comparar la distancia mayor de la Luna y la distancia menor de Mercurio, se obtiene como resultado que la distancia mayor de Mercurio es de 166 radios terrestres y que la distancia menor es de 64. La relación entre la distancia menor de Venus y la mayor es de 16 a 104, aproximadamente. Claramente se puede deducir que, al comparar la distancia mayor de Mercurio con la distancia menor de Venus, resulta que la distancia mayor de Venus es de 1.079 radios y que la distancia menor es de 166. Como hemos dicho, la distancia menor del Sol es 1.160, por lo que la medida de estas dos distancias es diferente, pero obtenemos inevitablemente esas distancias, pues estas dos esferas citadas se deben encontrar más cerca de la Tierra que las otras dos, al situarse entre la esfera de la Luna y la del Sol, circunstancia que no se da en las restantes esferas. No es posible situar entre la distancia mayor de Venus y la distancia menor del Sol la esfera de Marte, que es, de las restantes, la más próxima a la Tierra y cuya relación de su distancia mayor a su distancia menor es de 7 a 1 aproximadamente. Por otro lado, sucede que siempre que aumentamos la distancia de la Luna tiene que disminuir la del Sol, y viceversa. Si aumentamos la distancia de la Luna [ligeramente], disminuirá la distancia del Sol, y así se corresponderá con la distancia mayor de Venus [33]. En relación con todo lo anterior se puede afirmar que, como hemos mencionado, el orden de las esferas de los planetas no está sólo en la proporción de sus distancias, sino también en la diferencia de sus movimientos. Lo primero que hay que tener en cuenta es que cuanto más alejado esté de la hipó-

[32] Todas las distancias están dadas en radios terrestres. (Véanse las pp. 36-40 de la introducción.)

[33] Ptolomeo intenta encajar la esfera de Marte entre la de Venus y la del Sol, pero le falta sitio, ante lo cual opta por disminuir la distancia del Sol y aumentar la de la Luna. Sin embargo, Ptolomeo no cuantifica estas disminuciones y aumentos. Sobre las discrepancias de las cifras en las esferas de Venus y el Sol, véanse las pp. 36-38 de la introducción.

tesis del Sol, que está en el medio desde todos los puntos de vista, más alejada [debe estar la esfera] del Sol. La esfera de Mercurio es adyacente a la esfera de la Luna, ambas esferas son excéntricas y sus centros se mueven según el movimiento del universo, en contraste con el movimiento de [los centros de] sus epiciclos, sucediendo que el centro de estos epiciclos se halla en el apogeo y en el perigeo dos veces en cada rotación. Las esferas más cercanas a la atmósfera se mueven con muchas clases de movimientos y en esto se asemejan a la naturaleza del elemento adyacente a ellas. La esfera más cercana al movimiento universal es la esfera de las estrellas fijas, que se mueve con un movimiento simple similar al movimiento de un cuerpo firme, cuya rotación continuará siempre así por sí misma [34].

La magnitud de los restantes planetas [35], según la clase de conexión de sus esferas, se determina de forma análoga, según la cual la menor distancia de la esfera más lejana a la Tierra es igual a la distancia mayor de la esfera más cercana a la Tierra. La relación que damos a la mayor y la menor distancia de Marte es de 7 a 1. Cuando confrontamos su menor distancia y la distancia mayor del Sol, entonces nos encontramos con que su mayor distancia es de 8.820 radios y su menor distancia es de 1.260. La distancia menor de Júpiter está en relación a su distancia mayor en la proporción de 23 a 37. Cuando establecemos su distancia menor, que es la distancia mayor de Marte, ésta es de 8.820 radios y su distancia mayor es de 14.187. De igual forma, la relación de la distancia menor de Saturno con res-

---

[34] Ptolomeo añade una nueva razón en favor del orden de los planetas por él adoptado (véase nota 31 *supra*): los modelos de Mercurio y la Luna tienen más movimientos que los de los otros planetas (véanse las pp. 29-30 y 36 de la introducción). Obsérvese que cuando Ptolomeo dice que «las esferas más cercanas a la atmósfera se mueven con muchas clases de movimientos y en esto *se asemejan a la naturaleza del elemento adyacente a ellas*» (el subrayado es nuestro), esto es, a la atmósfera o al aire, parece estar olvidando la tradicional distinción aristotélica entre mundo sublunar y supralunar (éste es uno de los aspectos en los que se pueden apreciar influjos ajenos al aristotelismo en Ptolomeo, seguramente estoicos). Además, nótese cómo utiliza como razón que inclina la balanza en favor de este orden de los planetas motivos en absoluto *matemáticos* (véanse pp. 35-36 de la introducción).

[35] En realidad, en el manuscrito del Museo Británico dice 'de las otras fijas', pero está claro que debe ser un error, seguramente del copista.

pecto a su distancia mayor es de 5 a 7. Al comparar la distancia menor de Saturno y la distancia mayor de Júpiter, resulta que la distancia mayor de Saturno, adyacente a la esfera de las estrellas fijas, es de 19.885 y su distancia menor es de 14.187 radios.

En resumen, cuando se toma como unidad el radio de la superficie esférica que rodea la Tierra y el agua, el radio de la esfera que rodea el aire y el fuego es de 33, el radio de la superficie que rodea a la Luna es de 64, el radio de la de Mercurio es 166, el de la de Venus es 1.079, el radio de la del Sol es 1.260, el radio de la esfera de Marte es 8.820, el radio de la esfera de Júpiter es 14.187 y el radio de la esfera de Saturno es 19.865 [36].

El radio de la superficie que rodea la Tierra y el agua es de dos miríadas de estadios y medio y un tercio y una parte de treinta miríadas de estadios y la circunferencia de la Tierra es de 18 miríadas de estadios [37].

El límite que separa lo que hay entre la 'esfera del fuego' y la esfera de la Luna está a una distancia de 94 miríadas de estadios y un medio y un décimo de miríadas de estadios. El límite que separa la esfera lunar de la esfera de Mercurio está a 183 miríadas de estadios y un tercio y un décimo y una parte de treinta miríadas de estadios. El límite entre la esfera de Mercurio y la de Venus está a 475 miríadas de estadios y un medio y un tercio y una parte de treinta miríadas de estadios. El límite de la distancia que separa la esfera de Venus y la del Sol es de 3.093 miríadas de estadios y un décimo de miríada y una parte de treinta miríadas de estadios. La distancia que separa la esfera del Sol y la de Marte es de 3.612 miríadas. El límite que separa la esfera de Marte y la de Júpiter está a dos miría-

---

[36] Sobre las distancias y radios planetarios, véanse las pp. 36 a 40 y los cuadros I y II de la introducción.

[37] Puesto que una miríada de estadios son 10.000 estadios, la longitud de la circunferencia terrestre es de 180.000 estadios y su radio 28.666,667 estadios (2;52 miríadas de estadios o $2 + {}^1/_2 + {}^1/_3 + {}^1/_{30}$ miríadas de estadios). Incidentalmente esto nos permite apreciar que el valor de π usado por Ptolomeo es corto, ya que $\pi = \frac{\text{long. circ.}}{2r} = \frac{180.000}{2 \times 28666{,}667} = 3{,}1395348$.

Sobre el valor atribuido a los estadios y las dimensiones del cosmos ptolemaico, véanse las pp. 39-41 y el cuadro II de la introducción.

das [de] miríada y 5.284 miríadas de estadios. El límite de la esfera de Júpiter y la de Saturno es de cuatro miríadas de 'miríadas' y 4.769 y un tercio y una parte de treinta miríadas de estadios [38]. La distancia de Saturno y la esfera de las estrellas fijas es de 5 miríadas 'miríadas' y 6.946 y un tercio de una miríada de estadio.

Si la cuestión [el Universo] se configura según hemos dicho, no hay espacio entre las distancias mayores y menores [de las esferas adyacentes], y las superficies que separan una esfera de otra no difieren de las cantidades [ya mencionadas]. Esta es la más plausible de las configuraciones, porque no se puede concebir que en la naturaleza exista un vacío o cosas sin sentido o inútiles. Las distancias de las esferas que hemos citado están de acuerdo con lo que hemos argumentado anteriormente. Pero si hubiera espacio o vacío entre las esferas, entonces está claro que las distancias no serían menores que las que hemos mencionado.

A veces es posible medir la relación existente entre los diámetros de unos y otros cuerpos estelares. Para determinar estos tamaños se precisan los diámetros aparentes [de los planetas], los modelos para sus movimientos y la escala de estos movimientos, que se conoce por medio de las distancias ya mencionadas. Todo ello es posible cuando el hombre sigue este método que paso a describir.

Ibn Jass [39] dice que el diámetro aparente del Sol se considera que es treinta veces el diámetro de la más pequeña de las estrellas, y que el diámetro aparente de la más grande de las estrellas, Venus,

---

[38] Como se puede apreciar, existe una discrepancia entre las miríadas de estadios a las que se encuentra el límite de la esfera de Júpiter con la de Saturno. Según el texto, es de 44.769;22 ó 44.769,367 miríadas de estadios. Pero la cifra obtenible por la simple multiplicación de la cantidad de radios terrestres que tiene la esfera de Júpiter por el número de estadios o miríadas de estadios del radio terrestre es otra, 40.669,4 miríadas de estadios. No hemos encontrado manera de enmendar la cifra de 4476;22 que aparece corrupta en el manuscrito (tampoco Goldstein, *loc. cit.*, pp. 8 y 11). Sobre las distancias planetarias, véanse pp. 36-41 de la introducción.

[39] Hiparco. Lo único que nos ha quedado de las obras de este astrónomo (siglo II a. n. e.) es un fragmento de su *Comentario al Poema de Arato.* No obstante, Ptolomeo se debe referir aquí a una obra denominada *Sobre los tamaños y distancias.* Papo (hacia 320), Teón de Esmirna (siglo II) y Calcidio (300 a 350) citan la misma obra de Hiparco, según la cual el Sol tiene 1.880 veces el tamaño de la Tierra y ésta 27 veces el de la Luna.

es, aproximadamente, un décimo del diámetro aparente [del Sol]. Los diámetros que hemos visto no traicionan en absoluto la disposición de sus auténticos diámetros de forma perceptible. En esta exposición Hiparco dice que determinó el valor mínimo de los cuerpos estelares, empleando para ello una distancia común, en relación con la cual la Tierra es un punto. Hiparco no cita a qué distancia de Venus se toma el valor [del diámetro] que hemos citado; nosotros lo consideramos como la distancia media de todas las distancias al observar sus diámetros y medirlos, teniendo en cuenta sus valores tomados en el apogeo y en el perigeo, cuando lo ocultan los rayos del Sol y lo perjudican. Encontramos que el diámetro [aparente] de Venus es la décima parte del diámetro del Sol, como dijo Hiparco; el diámetro de Júpiter es 1/12 del diámetro solar, el de Mercurio es 1/15, el de Saturno 1/18 del diámetro del Sol; el diámetro de Marte y los diámetros de las estrellas de primera magnitud, es decir, las [estrellas] fijas, es 1/20 del diámetro del Sol. El diámetro de la Luna cuando se encuentra en la distancia media en su esfera y la distancia media de la esfera excéntrica es igual a $1\,^1/_3$ veces el diámetro del Sol. Pero si todos los diámetros abarcan un mismo ángulo aparente cuando se encuentran en sus distancias medias, la razón de un diámetro con respecto a otro es igual a la razón de sus distancias medias, porque la razón de las circunferencias de los círculos, como la de los arcos semejantes entre sí, es igual a la razón de sus radios. En la medida en que el diámetro del Sol es 1.210, el diámetro de la Luna es 48, el diámetro de Mercurio es 115, el de Venus es 622 y 1/2, el de Marte es 5.040, el de Júpiter es 11.504, el de Saturno es 17.026, el diámetro de las estrellas fijas que son de primera magnitud, si fuera adyacente a la más lejana distancia de Saturno, sería de 19.865 o, aproximadamente, 20.000 [40]. Pero sus diámetros no subtienden los mismos ángulos que el diámetro del Sol, ya que el diámetro de la Luna subtiende un ángulo que es $1\,^1/_3$ veces el del Sol y los diámetros de los planetas subtienden las fracciones de estos ángulos que ya hemos citado. Está claro que en la medida en que el diámetro del Sol es 1.210, el diámetro de la Luna es 64, porque es

[40] Véanse las columnas 1 y 2 del cuadro III de la introducción.

1 y 1/3 veces de 48; el diámetro de Mercurio es 8, porque es 1/15 de 115, aproximadamente; el diámetro de Venus es 62, porque es 1/12 de 622 1/2; el diámetro de Marte es 252, que es 1/20 de 5.040; el diámetro de Júpiter es 959, porque es 1/12 de 11.504; el diámetro de Saturno es 946, que es, aproximadamente, 1/18 de 17.026; el diámetro de las estrellas fijas de primera magnitud es 1.000, que es 1/20 de 20.000, y no son más pequeñas de 1.000 [41].

Ya hemos explicado en el *Kitāb al-Siṭaksīs [Almagesto]* que el diámetro del Sol es de 5 y 1/2 en la medida en que el diámetro de la Tierra es 1; este 5 1/2 es a 1.210 como una parte a 220. Si nosotros tomamos esta medida de las cantidades que hemos citado [previamente], nos encontramos que si el diámetro de la Tierra es 1, entonces el diámetro de la Luna es de 1/4 y 1/24 de aquel 1; el diámetro de Mercurio es 1/27, el de Venus es 1/4 y 1/20, el del Sol es 5 y 1/2, el de Marte es 1 y 1/7, el de Júpiter es 4 1/3 y 1/20 y los diámetros de las estrellas fijas de primera magnitud es 4 1/2 y 1/20 [42].

En la medida en que el volumen de la Tierra es 1, el volumen de la Luna es 1/40, el volumen de Mercurio es 1/19.683, el de Marte es 1 y 1/2, el de Júpiter es 82 y 1/2 y 1/4 y 1/20, el de Saturno es 79 y 1/2 y el volumen de las estrellas fijas de primera magnitud es 94 y 1/6 y 1/8. Según lo que hemos descrito, el volumen del Sol es el mayor de todos los cuerpos en el universo, seguido de las estrellas fijas de primera magnitud; en este orden, el tercero es Júpiter, el cuarto Saturno, el quinto Marte, el sexto la Tierra, el séptimo es Venus, el octavo la Luna y el último es Mercurio [43].

---

[41] Véase la columna 3 del cuadro III de la introducción.

[42] En la columna 4 del cuadro III de la introducción aparecen los diámetros de los astros expresados en nuestro sistema métrico decimal y en la columna 5, los diámetros reales estimados en la actualidad, siendo el diámetro terrestre la unidad. Nótese que las estimaciones de Ptolomeo caen muy por debajo de las actuales, como era de esperar.

[43] Estos volúmenes aparecen expresados en el sistema decimal en la columna 6 del cuadro III de la introducción. Tampoco Ptolomeo estuvo muy atinado en su apreciación de los volúmenes de las estrellas. Hoy sabemos que el volumen de Júpiter es mayor que el de todos los demás planetas juntos (incluidos Urano, Neptuno y Plutón, desconocidos en la época de Ptolomeo y sin tener en cuenta, por supuesto, el Sol). El volumen de Júpiter es 1.300 veces el de la

Por segunda vez decimos aquí que si todas las distancias están de acuerdo con los valores citados, entonces los volúmenes de sus cuerpos están también de acuerdo con lo que hemos dicho. Si sus distancias son más grandes que las que hemos descrito, entonces estas dimensiones son los valores mínimos [posibles]. Si sus distancias son las que hemos definido, entonces Mercurio, Venus y Marte exhiben paralaje. Marte, cuando está en el perigeo, tiene una paralaje similar a la del Sol cuando está en el apogeo. Venus, cuando está en el apogeo, tiene una paralaje similar a la del Sol cuando está en el perigeo. Mercurio, cuando está en su perigeo, tiene una paralaje igual a la de la Luna cuando está en el perigeo. La paralaje de Mercurio en su apogeo es igual a la de Venus en el perigeo. La proporción de cada una de ellas con la paralaje lunar y solar es igual a la razón de las distancias que hemos mencionado con las distancias del Sol y de la Luna.

La primera aparición de las estrellas y su desaparición bajo los rayos del Sol se da cuando las estrellas están sobre el horizonte, en el orto o en el ocaso, y el Sol está cerca del horizonte. Entre ambos hay un arco de la circunferencia máxima que se traza por el centro del Sol y el cenit [44]. En las estrellas fijas de primera magnitud, al estar en la eclíptica, [el ángulo] es de 15° aproximadamente, para Saturno es de 13°, para Júpiter 9°, para Marte 14 $^1/_2$°; para Venus, al ponerse por la mañana y ascender por la tarde, es de 7.°, mientras que al ponerse por la tarde y ascender por la mañana, es de 5°; para Mercurio es de 12°. En el orto de los planetas exteriores, cuando están frente al Sol [45] éste debe estar debajo de la Tierra [esto es, bajo el horizonte] aproximadamente la mitad del arco que hemos mencionado. La diferencia de la distancia solar [arcus visionis] solamente se presenta en Venus y no en los restantes planetas, ya que los otros

---

Tierra, y el del Sol, 1.300.000 veces el de ésta. Por lo que se refiere a las estrellas fijas, por ejemplo, Aldebarán, una de las estrellas más brillantes que se halla en la constelación de Taurus, tiene un volumen 216.000 veces el del Sol. Estas cifras quedaban completamente fuera de la imaginación de Ptolomeo.

[44] Este arco se denomina *arcus visionis* e indica la distancia a la que se debe encontrar el Sol bajo el horizonte para que la estrella sea visible.

[45] Se refiere al orto acrónico de los planetas exteriores, fenómeno que se produce cuando el planeta es visible por primera vez al ponerse el Sol.

tres, Júpiter, Marte y Saturno, solamente desaparecen y aparecen bajo los rayos del Sol, cuando están cerca del apogeo de sus epiciclos. Mercurio solamente aparece y desaparece cuando se encuentra en su distancia media, porque sólo aparece cuando su distancia al Sol es mayor que la distancia que tenía cuando se encontraba en el apogeo o perigeo, razón por la cual de vez en cuando no logra aparecer del todo. Venus desaparece y aparece cerca del apogeo y del perigeo, y su magnitud varía debido a la diferencia de su distancia [de la Tierra] en el momento de su orto y su ocaso.

Se puede pensar que hay un motivo por el que lo que aparece ante la mirada se transforma y nos imaginamos que la magnitud de [estos] cuerpos no está en la misma proporción que sus distancias. Pero conviene saber que el error es un efecto óptico que está de acuerdo con los principios ópticos. Nosotros explicaremos esta discrepancia en todo lo que aparece y se ve a gran distancia. El ojo no puede precisar la magnitud de estas distancias, ni la diferencia cuantitativa que hay entre las cosas de magnitudes diversas, ya que el ojo recoge [los rayos visuales] que son interpretados bajo la forma de lo que le es más familiar. Por eso ve a cada uno de los planetas más cercano a nosotros de lo que es realmente, al comparar las cosas con las distancias más familiares, como hemos mencionado. De igual forma, la magnitud varía de acuerdo con la distancia, pues, como hemos dicho, es la más pequeña proporción que se da en las distancias por la incapacidad de la vista para distinguir y captar la cantidad de cualquier clase, como hemos mencionado.

LIBRO SEGUNDO [46]

En el nombre de Dios, el Clemente, el Misericordioso, sólo en El confío.

Tratado segundo del libro de Ptolomeo sobre las formas [de los planetas] conocido como *Las hipótesis*.

Dijo Ptolomeo: ya hemos descrito la mayoría de las relaciones de los movimientos esféricos que, por medio de las observaciones astronómicas, han llegado hasta nuestro tiempo. Pero aunque situemos los modelos con sus movimientos y las clases de posición simple en las esferas mayores que hemos descrito con sus movimientos, aún nos falta describir las formas de los cuerpos en los que hemos incluido estas esferas. En esto adoptamos lo que es adecuado a la naturaleza de los cuerpos esféricos, a lo que nos obligan los principios que configuran la esencia que siempre permanece inalterable.

---

[46] Aquí comienza el libro II de las *Hipótesis de los planetas*. Esta parte sólo sobrevivió en árabe bajo el título de *Kitāb al-iktīṣāṣ*, por lo que se consideró que era una obra diferente al *Kitāb al-manṣūrāt* (véanse pp. 15-17 de la introducción). Seguramente los autores árabes le dieron familiarmente este último título debido a la peculiaridad de las 'piezas serradas' que presenta Ptolomeo en esta segunda parte (véase nota 49 *infra*). Esta parte comienza en el folio 93.ª del manuscrito anteriormente citado (véase nota 27 *supra*).

No es de nuestra incumbencia enumerar las teorías de los antiguos, sus opiniones en estos temas, ni corregir los errores que puedan tener, porque ésta es una materia que fue creada para quien siga comparando las cosas, elaboradas únicamente como hipótesis, con lo real, exacto y estable, si lo precisa el método que sigue según los movimientos circulares uniformes.

A continuación explicaremos los estados de los cuerpos en los que se produce lo anteriormente citado, y cómo se encuentran unos respecto a los otros, después de haber distinguido y anticipado, en primer lugar, los fenómenos universales que se producen en ellos, generalmente, en el aspecto físico-matemático. La valoración física nos induce a afirmar que los cuerpos etéreos no cambian ni se alteran, aunque fuesen diferentes en todo tiempo, lo que se corresponde con su extraordinaria naturaleza y es semejante a la fuerza de las estrellas que están dentro, cuyos rayos penetran claramente en todas las cosas que están dispersas a su alrededor, sin ningún impedimento ni alteración, lo mismo que nos sucede con la vista y la inteligencia. Esto nos lleva a asegurar que los cuerpos etéreos son inalterables, pues ya definimos que sus formas son esféricas y que su actividad es la de las cosas que se asemejan en [sus] partes. Para cada uno de estos movimientos que difieren en cantidad o en variedad hay un cuerpo que se mueve alrededor de unos polos y en un tiempo y espacio propios de forma voluntaria, según la fuerza de cada una de las estrellas, desde las cuales tiene lugar el comienzo del movimiento que surge de las fuerzas principales, similares a las fuerzas que hay en nosotros y [que] mueve los cuerpos de modo semejante a las partes de un animal completo, según las relaciones que se adecúan a cada una de ellas. Esa circunstancia se produce en ellos sin [ningún tipo de] fuerza ni violencia que les obligue desde el exterior, ya que no hay nada más potente que lo que no permite [ninguna] influencia pero puede obligar [47].

---

[47] Aunque Ptolomeo adopta numerosas tesis aristotélicas, no hay duda de que recibió influjos de otras escuelas filosóficas que le llevaron a efectuar críticas a ciertos aspectos de la representación aristotélica del mundo, dominante no sólo en Grecia, sino en el occidente medieval. En este caso, Ptolomeo realiza uno de los primeros ataques contra el primer motor aristotélico y propone en

También se debe al comportamiento de un peso natural y a un movimiento no autónomo, semejante a los cuerpos que se elevan y caen por la condición de su movimiento natural, porque, en primer lugar, estos movimientos no corresponden, por naturaleza, a los cuerpos que se mueven dentro de ellos, sino que cada uno está fijo y en calma, si está en algo que le es semejante; pero si es transferido a lo que no le es semejante o familiar, tiene tendencia a ir al lugar que le es específico.

Por otro lado, si toda esta sustancia supuesta está animada, exenta de este movimiento corporal, en sentido vertical y en forma variable, entonces se produce el movimiento giratorio invariable, con su pureza, libremente y sin obstáculo, según lo que es similar y corresponde a la maravillosa inteligencia y voluntad, que no ofrece impedimento ni produce cambio de opinión ni variación, pues es un movimiento de ordenación que está presente en las tres direcciones locales de forma contrapuesta.

Por lo que respecta a la valoración matemática [se puede apreciar] que al aplicar las cosas descritas en relación con cada uno de los movimientos que se nos muestran, es posible imaginarlos según dos tipos de anomalías: el primero [es el que consiste en] establecer para cada movimiento una esfera completa, bien hueco, como las esferas que se rodean entre sí o a la Tierra, o bien maciza, no hueca, como aquella que no rodea nada determinado en sí, que es la que mueve las estrellas y se denomina epiciclo. El otro tipo es aquel que no determina para cada uno de los movimientos una esfera completa, sino un trozo de esfera, que se encuentra a los dos lados del mayor de los círculos que se halla sobre aquella esfera, es decir, sobre la que se realiza el movimiento longitudinal, y el trozo que se une en ambos lados con arreglo a la anchura, de manera que la forma de este trozo si es de un epiciclo, es semejante a un tambor, si es de las esferas huecas es similar a un cinturón, o a un anillo, o a una esfera, como dice Platón.

La teoría matemática señala que entre ambos tipos descritos no hay diferencias, ya que los citados movimientos en esferas completas

---

su lugar una suerte de fuerza vital como motor de los cuerpos celestes, a semejanza de lo que sucede con los animales (véanse pp. 48-49 de la introducción).

pueden configurarse de esta forma y ser comparados con los movimientos de las piezas serradas [48], que hemos citado, debido a que movimientos similares hacen posible que se puedan considerar como una misma cosa.

Por lo que se refiere a los que compararon el comienzo de los valores de los movimientos de las esferas que podemos percibir, hay que decir que lo hicieron de forma natural [física], según la posición de las esferas completas, y ya se ha visto que en las esferas que se nos muestran, los movimientos esféricos tienen necesariamente dos puntos que tocan las esferas, los llamados 'polos', y lo mismo se supone para las piezas serradas, lo cual es difícil de entender.

En las esferas completas es fácil suponer lo antes citado, pues [los antiguos], al igual que hiciera Aristóteles, se apoyaron en la afirmación de que los polos de las esferas que las rodean estaban firmes sobre la esfera circundante; pero como no queda ninguna relación entre las esferas interiores y la primera esfera exterior y como tampoco el movimiento de todas las esferas tiene la misma velocidad, sino que difieren de múltiples formas, se vieron forzados a buscar cuál era el primer tipo de movimiento según el cual se mueve cada una de las estrellas tal y como lo vemos y se nos muestra, ya que las esferas [que hay] entre [las estrellas] y nosotros difieren tanto en su posición como en su movimiento, y por esa razón Aristóteles em-

---

[48] Esta es la primera vez que aparece el término *mansḫūrāt,* de difícil traducción. Neugebauer (1975, pp. 922-926) habla de capas o esferas, según sean o no huecas. Por otro lado, W. Hartner («Falak» en *Encyclopaedia of Islam,* pp. 780-782) traduce *mansḫūrāt* por 'casquete'. Pero este término referido a esferas tiene en castellano el significado muy preciso de «sector de una esfera menor que una semiesfera». El significado del término *mansḫūrāt* en Ptolomeo es distinto. Aunque en el párrafo anterior Ptolomeo considera que los movimientos de cada uno de los astros se efectúa en esferas, también afirma que no es necesario suponer que la esfera es completa, sino que basta con imaginar una especie de tambor —en el caso de que sea una sección de la esfera maciza del epiciclo— o un cinturón, si es una sección de una esfera hueca. En ambos casos, las secciones se forman a partir de círculos paralelos al ecuador; esto es, los *mansḫūrāt* son trozos cortados de una esfera, del tipo antes mencionado. Como señala W. Hartner *(ibidem*), es probable que *mansḫūrāt* sea la traducción del griego πρίσματα, del mismo origen que nuestro 'prisma' (de πρίω, serrar), aunque en este caso no sería un cuerpo formado por dos superficies paralelas poliédricas, sino esféricas.

pleó los movimientos 'compensadores', pero no necesitamos atribuir al cuerpo etéreo cosas que suponemos en los cuerpos que se encuentran con nosotros, y no debemos suponer que algo que obstaculice las cosas que se hallan con nosotros obstaculice también [las cosas] de naturaleza celeste, tan diversa en su esencia y en su efecto [49].

Por otra parte, no consideramos que esos polos sean el primer origen del movimiento giratorio, porque [no es difícil] suponer que la esfera se mueva de otra forma, [quizás] como las esferas que rotan sin apoyarse exteriormente sobre una misma cosa, y que los polos no efectúen el movimiento giratorio en el lugar que les es propio, sino que soporten el peso de la esfera. Tampoco aquellos puntos son el origen del inicio del movimiento, porque no es posible que la causa del movimiento sea un objeto en calma, pues la causa es siempre algo diferente a estos puntos.

Si ahora imaginamos una esfera que no se mueva ni sea trasladada por la naturaleza o por algo que la rodea, como esta naturaleza, tampoco necesitamos aquí polos ni para que se mueva la esfera ni para que gire y regrese al mismo lugar. Además, la esfera tendría el inicio del movimiento en sí misma, de forma que la afirmación de que [siempre] se apoya en algo diferente sin que esto se sitúe en su interior es una afirmación de la que conviene reírnos; sería el caso del movimiento de la esfera del universo, porque aquí el interior es el comienzo. El interior, o bien es interior, porque es el interior de la esencia y hacia él y en torno a él se produce el movimiento, o bien es comienzo, porque el comienzo de este movimiento es eterno y circular. [También] es aquí de donde procede, porque el motivo en ambos casos es que la fuerza móvil es invariable, única y la misma.

---

[49] Con esta crítica y las que expone a continuación se refiere al sistema de esferas compensadoras de Aristóteles. Según dicho sistema, el movimiento de cada planeta era producido por un número determinado de esferas, en contacto entre sí de tal modo, que el movimiento de una era transmitido a la siguiente, y así sucesivamente. Este modelo, que era *grosso modo* el de Eudoxo y Calipo, necesitaba de una serie de esferas que *compensaran* la creciente velocidad que irían tomando a medida que descendieran desde la esfera de las estrellas fijas; así, pues, tenían los mismos ejes y la misma velocidad, pero en sentido contrario, anulando de este modo los movimientos particulares de cada planeta y transmitiendo tan sólo, de un conjunto de esferas de un planeta al siguiente, el movimiento diurno de las estrellas fijas.

Pero no sólo es así en este caso, sino [también] cuando las distancias en ambas direcciones hacia las cuales van las cosas son las mismas, como sucede con las cosas suspendidas, que se inclinan de la mima forma cuando las distancias a las posiciones hacia las que tienden son iguales.

En resumen, si resulta difícil imaginar que el movimiento esférico no se produce alrededor de unos polos fijos, [hay que] considerar también que es más difícil imaginar aquellos polos y la forma en que se unen a la superficie de las esferas que se unen a ellos por fuera, y que [atraen] a las esferas interiores, gracias a lo cual estos polos se relacionarían con cada una de ellas. Si nosotros los consideráramos como puntos, [entonces] uniríamos cuerpos a cosas que no lo son, uniríamos estas cosas que tienen tamaño y fuerza con algo que carece de tamaño y no es nada; pero si los consideramos como cuerpos similares a los nudos de la madera o a nuestras verrugas, si no son diferentes ni contrarios a las cosas estables que vemos a su alrededor, no tenemos medios para atribuir estas características a [ninguna] naturaleza; y si son contrarios a lo que se encuentra a su alrededor, como, por ejemplo, la densidad que hay en los nudos de la madera, entonces [debemos] negar la permanencia en su lugar, porque los cuerpos que son más densos siempre bajan más que aquellos que son más finos y tienden hacia el centro del mundo [si] las estrellas están animadas y se mueven de forma voluntaria. Este movimiento voluntario también es el origen de que entre las especies animales los pájaros tengan una fuerza por la que se mueven y giran en las alturas. Por lo que respecta a la densidad no debemos pensar que las estrellas se diferencien de las cosas que hay a su alrededor por tal circunstancia; únicamente son diferentes por la fuerza que tienen los rayos dentro de ellas, de igual forma que la nube se diferencia del aire que la rodea por el color, mientras está seca, y lo mismo sucede con los líquidos teñidos que se diferencian de los que no lo están por la densidad, si tales líquidos fuesen similares entre sí.

Pero si admitimos que los polos pueden estar fijos, entonces, ¿a cuál de las dos esferas unidas están sujetos los polos? Porque no es posible que estén sujetos a las dos [simultáneamente], debido al movimiento; pero si estuvieran unidos a una, no podrían estarlo a ella

sin estar sujeto a la otra. También [podríamos preguntarnos] cuál de los polos mueve la esfera que está suelta. En consecuencia, todo esto produce desconcierto. El físico afirma que la razón de la estabilidad de los cuerpos que se mueven puede ser uno u otro de los dos tipos mencionados, lo que no aporta distinción ni diferencia; es decir, que aunque diga que la causa de aquello sean las esferas enteras o los trozos que están entre ellas, no hay motivo de separación ni diferencia, sino que se distingue cuando una esfera es hueca y la otra no lo es. El físico podría afirmar, si quisiera, que es debido al tipo de movimiento que hay en los trozos similares a anillos o tambores por múltiples razones: en primer lugar, porque en el cielo no hay muchos movimientos, debido al comportamiento de las esferas giratorias, ya que es posible imaginar que esto [ocurre] con pocos movimientos, pues en los trozos de los cuerpos esféricos del tipo de las piezas serradas se produce el movimiento giratorio similar al movimiento del éter que se origina con el movimiento primero, ya que, en cualquier caso, no existe nada que impida que se ponga en movimiento con su [propio] giro y con la fuerza que tiene según sus movimientos específicos, como ocurre con las cosas que se mueven con un solo movimiento y que se opone a aquellos movimientos de múltiples formas, o como sucede con las cosas que flotan en el agua que fluye.

[Por otra parte], es razonable pensar que pueda existir algo en la naturaleza que no tenga sentido o que sea inútil, y [que esto sean] las esferas completas que se mueven, pues sería suficiente que ocurriera tal situación en una pequeña parte, lo que resultaría como en las esferas que mueven todas las estrellas, es decir, la esfera de las estrellas fijas, situación que viene dada por lo que se puede apreciar al mirar, mientras que tal circunstancia no se produce en otros objetos.

Por todo lo anteriormente citado, es preciso que Mercurio y Venus no estén situados sobre el Sol, sino entre el Sol y la Luna, de forma que este gran espacio no quede vacío, como se podría deducir de las distancias, pues se asemejaría a algo que la naturaleza dejara, rechazara y no utilizase, mientras que [todavía] se puede afirmar que las distancias de estas dos estrellas mencionadas se encuentran

más cerca de la Tierra que las otras, por lo que este espacio está lleno solamente por estas dos. Esta alteración e incoherencia resulta de la posición de las esferas compensadoras, sin considerar el incremento en las cifras porque ocupan un gran espacio en el éter y no son necesarias en los movimientos que se ven en las estrellas, sino que ruedan juntas en una misma dirección, por lo que se produce un solo movimiento en ellas.

Aquí lo más asombroso es que las últimas esferas dejen moverse a las primeras y a las que están rodeadas con un movimiento envolvente; muchas esferas [presentan] anomalías respecto a la esfera sencilla en contraposición a la doctrina natural.

Además, a partir de cada una de las esferas se producen los movimientos de todas las esferas situadas sobre ella, con su movimiento específico, de forma que no se mueve [sólo] con lo que le es propio, sino [también] con lo que le es extraño. Por tanto, ¿cuál de los movimientos propios de Saturno se da en Júpiter, cuál de los movimientos específicos de Saturno tiene la Luna?

Por otra parte, no nos es posible hallar la fuerza que mueve la primera de las esferas giratorias y que va [alrededor] de las demás en la configuración de todas las esferas, porque el principio del movimiento que se extiende desde las estrellas continuamente y, con el mayor de sus movimientos, mueve las cosas que le son propias desde el exterior, sin tener relación con la primera de las esferas que está bajo las estrellas, esfera que gira alrededor de las demás; aunque tocase la última esfera alrededor y por encima de la cual gira, no coincidiría tal evento con su movimiento, que es similar al movimiento primero, por lo que el proceso sería al contrario, porque se mueve desde allí, aunque no haya motivo para esto; así podría comenzar este movimiento, ya que no puede ser demostrado que las esferas giren de esta forma si alguien se imaginara que la Tierra y el aire giran con el movimiento de aquello que rodea a ambos y pudiera obligarlos [a moverse].

Si se toman los pájaros como ejemplo de las cosas que se encuentran en el cielo, entonces, cuando se mueven con su movimiento peculiar, el inicio de dicho movimiento reside en la fuerza vital que hay en él, luego se produce el impulso de esta fuerza que penetra en

los músculos, de allí a los pies y a las patas delanteras o a las alas, y al final tales partes cesan de impelerse, sin que se ajusten los movimientos específicos a las cosas que hay entre ellos, pues ellos mismos tampoco se ajustan a los movimientos de lo que les rodea. No existe una razón precisa para suponer que todos los movimientos de los pájaros, o su mayoría, se realicen por el contacto entre sí, al contrario, es obligatorio que no se toquen. De igual forma podemos imaginar el problema en los seres celestes y pensar que cada una de las estrellas tiene una fuerza vital, que se mueve por sí misma, que está [unida] a los cuerpos que por su naturaleza le son próximos y su resultado es el que sigue: en primer lugar, el epiciclo, luego la esfera excéntrica, luego el círculo, centro del mundo y este movimiento que le proporciona es diferente en muchos lugares, ya que la fuerza de la inteligencia en nosotros no es como la fuerza del impulso mismo, y ésta, a su vez, no es igual a la fuerza de los músculos ni a la de los pies, sino que, en cierta forma, se diferencia por su inclinación al exterior.

En general, por lo que se refiere al movimiento giratorio del éter, hay que decir que está en relación con todas las sustancias separadas de él, pero no coincide con los movimientos específicos de tales sustancias, ya que no se acoplan a los primeros movimientos giratorios del éter. Los cuerpos que componen cada una de las estrellas ocupan, [frente] al éter, solamente una posición para sí y para las estrellas, [de las cuales] es posible recibir cada movimiento suyo en altura y que el éter lo ponga en movimiento, porque el lugar de cada cuerpo está dentro del éter.

Sus piezas se encuentran libres y sueltas para desplazarse y girar en un lugar, dentro de la totalidad de aquel cuerpo de distintos tipos y múltiples formas, sólo que su movimiento es uno que gira uniformemente, semejante al círculo del *Dastaband* [50] y al círculo de gentes que hacen juegos de armas, apoyándose unos en otros al actuar, aunando sus respectivas fuerzas, sin poner en contacto sus cuerpos,

---

[50] Originalmente, cierto juego de los magiares del que probablemente se originó la ejecución similar, o baile de los derviches cuando celebran cierta fiesta. Un conjunto de bailarines danzan en un corro, sin que entre ellos exista contacto y dando vueltas, a la vez, cada uno de ellos. *(N. de la Trad.)*

para no estorbarse mutuamente. Con estos ejemplos es posible aclarar esta enseñanza, ya que es fácil preparar un instrumento que permita precisar los movimientos de las esferas excéntricas y de los epiciclos, de tal modo que solucionen el problema de los movimientos; aunque se empleasen en los movimientos unos polos y se sujetasen a un determinado lugar, no sería posible comprender el comienzo de tal situación, ni el tipo de conocimiento, ni la ordenación; pero sería posible conocerlo por medio de la analogía de los círculos sencillos o de los movimientos de las cosas cuyas formas son las de los tambores en el plano de la eclíptica; así se podría medir con ellas las posiciones de las estrellas sucesivamente, pues tal cuestión resulta ser un problema patente y claro para toda la gente y, con ello, se reconoce si coincide con lo que se nos muestra y con los cálculos que se sitúan según las bases que hemos dicho primeramente, cuya mención nos convenía hacer, por lo que ahora vamos a definir la posición de los cuerpos, sus movimientos y su ordenación.

Al hablar de la situación que corresponde a los movimientos, daremos una presentación general, para no repetir algo ni hablar de cosas mezcladas sobre el movimiento, valor de las distancias, inclinación, excentricidad y epiciclos. Con respecto a ello, nosotros construimos nuestra teoría de tal forma que siga ambos caminos simultáneamente, para que podamos comprender las anomalías parciales, la multiplicidad de movimientos que estamos investigando y su enseñanza más sencilla [51].

Modelo general del primer movimiento y del movimiento de las esferas de las estrellas

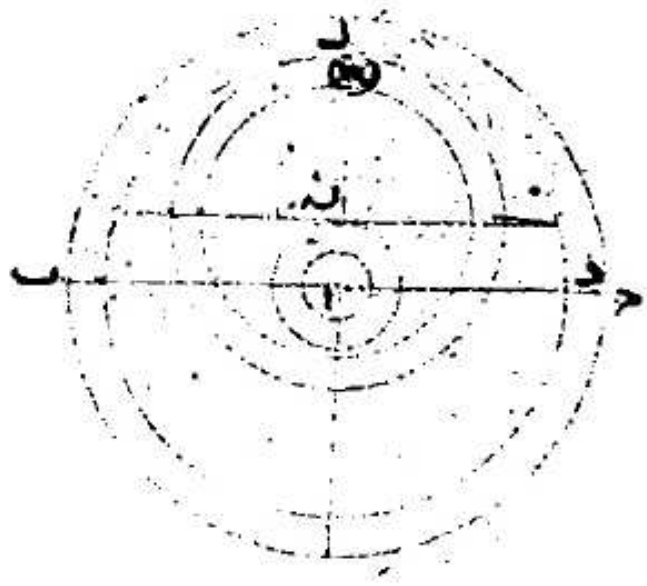
Aquí vamos a empezar desde arriba, es decir, desde la esfera de las estrellas fijas, porque es la primera que se mueve con un movi-

[51] Ptolomeo intenta construir un modelo físico, sin embargo, en ningún momento aparecen valores cuantitativos que permitan una comprensión y elaboración real. Si a ello añadimos la falta a veces, confusión otras, de figuras en los manuscritos, así como la ilegibilidad de la mayoría de las letras usadas para referirse a figuras en su mayoría inexistentes (véanse pp. 42-43 y 77 y la reproducción de parte del manuscrito de las pp. 50, 101-102), se comprenderá la dificultad que este texto entrañó siempre para los historiadores de la ciencia.

واما الذي يحيط بهذا الفلك فمقدار عظم ميل حدف لم وايضا فان هذه القطعة التي تحيط
بهذا وهي فيما بين ه ت عظم هذا الميل وذلك ان وضع هاتين القطعتين وضع متواز وعلى
سطح واحد متوسطاهما واما الفلك الخارجة عن الجميع وهي فيما بين ب ش فمقدار
عظم ميل منشور هت فقد تبين لنا ان لم يحرك الكوكب ايضا بكرة او منشور فيظل
جسم ولكن الاجسام الموضوعة لذلك الكوكب وهو الذي في داير لم المخالف في حركته
لحركة ذلك الذي الاول فاما ان يقول الوجه الاخر اولى بنا فقد بينا ان نتوهمه من
قبل ان شيا التي قيلت في سايرا الاجسام حتى يكون الكوكب ايضا محتويا على ثلاثة احتواء
كل واحد من تلك الاجسام وقد احتوى على ثلاثة لغيره احتواء متصلا لا نهاية خرج او كانه
يدفع شيئا بما يشاق بعضها بعضا فان ما كان من الحركات على مثل هذه الحال فانه يستدل
بذلك على ابتداء حركته من شي اخر ولضروره واما الذي خرج فانه خرج عن هذه الحركة الدايمة
حول الوسط فالاولى اذن ان يحرك حول احد من الكواكب ايضا شيا لان هذا هو قوة
الكوكب وفعله في موضعه الخاص به وعلى وسطه اعني الحركة المتصلة المستديرة فقد يجب ان
يكون للكوكب اولا الشي بفعله بالاجسام التي تحيط به

مثال لافلاك زحل ويعم المشتري والمريخ والزهرة

فاذ هذا قد فصلنا وضع الاشيا التي ذكرنا في كوكب زحل فينبغي ان نثبت ونحفظ هذا الوضع
وهذا الترتيب لعينه في الاكر والمنشورات التي للكواكب المشتري وكوكب المريخ وكوكب
الزهرة واما النسب الخاصية لكل واحد منها فانا نترك ذكرها اذ كانت قد ذكرت
مع غيرها وناخذ في اشيا عامية يستحق ان نذكر منها ان الاكر والمنشورات التي تشبه
جسم نع مركزها ابدا نقطة ب ولبين
يشبه لا استوا الحركة ولا ميل فلك التدوير
لكن كما قلنا وبينا من امر الافلاك وان
ذلك انما يكون في نقطة على ا ح بعدها
من ا بعدها من ب وان مركز فلك
التدوير اذا كان في منتهى شمال ميل الفلك
الذي يحيط بالارض فعند ذلك يكون
منتهى شمال الميل عن فلك التدوير في زحل
والمشتري والمريخ في البعد الاقرب من



Folio 98[b] del manuscrito árabe de *Las hipótesis de los planetas*, donde se expone el modelo de esferas de Júpiter, Marte y Venus. La figura aparece incompleta.

وفيه والمنشور الثالث يحيط به جميع المنشور الثاني وهو منشور الكرة المجوفة التي
يحيط بها دائرتا الرأس وهو فيما بين هذه وما يليها وهو قائم على السهم الذي يمر
بقطبي الزمان وايا فايه والمنشور الرابع هو كله في داخل الثالث وهو منشور
الكرة التي يحيط بها فلك
التدوير وهو ايضا فيما بين فلك
قائم على السهم الذي يمر بقطبي
على زوايا فايه فيكون ايضا على هذه
الجملة من الوضع اربع منشورات
من بين الكرات عيانها لانه لم يحتج
في هذه كما احتج في تلك الى شيء مما يلتف
بعضه على بعض لانه من هذه المنشورات
تشبه بالفلك وواحد شبيه بالكرة

مقالة الثامنة

والحال التي للحركات ايضا في الاجسام على الوجه من غير معاندة
لجميع الاكر على الوجه الاول احدى واربعون كرة من ذلك ثماني اكر
محركة وكرة للكواكب الثابتة وكرة الشمس واربع للقمر ولكل واحد من زحل والمشتري
والمريخ والزهرة خمس اكر في هذه الاكر في كل واحد من الكواكب كرة مقارنة وكرة تتحرك
على خلافها ولعطارد سبع اكر فيها واحدة تتحرك على خلافها فجميع ذلك احدى واربعون
كرة واما على الوضع الثاني فان جميع الاجسام تكون تسعة وعشرين جسما من ذلك
ثلث اكر مجوفة وهي الكرة المحركة للكواكب الثابتة وكرة ما يلي من الابعد وستة وعشرون
منشورا من منشورات الاكر وكذلك ايضا تكون للشمس منشور واحد وللقمر اربع
منشورات ولكل واحد من زحل والمشتري والمريخ والزهرة اربعة ولعطارد خمسة فجميع
ذلك تسعة وعشرون جسما وان نحن توهمنا ان حركات الكواكب هي لها انفسها
لا لاجسام اخر محركة لها عدد ما ذكرنا من الاجسام سينقص في كل واحد من الجهتين
واحدا واحدا في كل واحد من الكواكب المتحيرة فيكون ما ينقص من عدد الجميع سبعة
فيجتمع على الجملة الاولى اربعة وثلاثون كرة وعلى الجملة الثانية تكون الاكر ايضا ثمانية
والمنشورات تسعة عشر منشورا فجميع الاجسام اثنان وعشرون جسما فليس يظهر
ولا يعرض من مخالف لما نظهر البتة ان لم يتوهم على الجملة الثانية ان الاجسام

Folio 101[b] del manuscrito árabe, donde se expone el sistema de esferas de la Luna. Como se ve, se dejó el hueco para la figura que no se llegó a incluir

miento perceptible y sólo participa de uno de los dos tipos citados de movimiento, ya que las estrellas están dispersas a través de toda su extensión y conservan esta misma posición, sujetándose a ella no sólo por la situación de las unas con las otras, sino también por su fuerza, que se extiende sobre la esfera que las rodea y mueve. Los cuerpos que se mueven de este a oeste alrededor de los polos del ecuador con todo lo que los rodea, según la dirección del movimiento universal, se denominan con el nombre genérico de 'motores'. El primero de estos cuerpos es aquel que mueve la esfera de las estrellas fijas, el segundo es el que mueve la esfera exterior de Saturno, el tercero mueve la esfera exterior de Júpiter, y así sucesivamente. Cada uno de los cuerpos que se encuentra bajo este motor se denomina en función de los fenómenos que ocurren en cada uno de ellos, es decir, según su posición respecto a la eclíptica, porque algunos de los que rodean la Tierra giran alrededor del eje de la eclíptica misma y se denominan 'de similar colocación'. Otros tienen el centro de este círculo como centro, pero no giran alrededor de su eje, denominándose 'deferentes'; otros no están colocados alrededor del centro ni giran sobre su eje, otros giran alrededor de un eje paralelo al eje de la eclíptica y se denominan con el nombre específico de 'círculos excéntricos', otros giran alrededor de un eje que no es paralelo al eje de la eclíptica, y se denominan con un nombre opuesto al primero, es decir, 'no colocados similarmente'. Aquellos que no rodean la Tierra se denominan con el nombre genérico de 'epiciclo'; algunos se mueven alrededor de un eje paralelo al deferente citado y se denominan 'no inclinados'; otros se mueven sobre un eje no paralelo y se denominan 'de inclinación anómala'. Finalmente aquellos que rodean los cuerpos luminosos se denominan 'motores' de las estrellas.

[Aunque ya] hayamos anticipado la posición de estas cosas, tracemos en primer lugar cuatro esferas cuyos centros sean el centro del mundo [esto es] las esferas AB, CD, FG y HT; imaginemos los puntos AH y TB en el eje del ecuador y las líneas CF y GD verticales al eje de la eclíptica. Por otro lado, supongamos que la esfera limitada por los círculos A y C es [el sistema] que mueve la esfera de las estrellas fijas, siendo la esfera rodeada por los círculos C y F

la de las estrellas fijas; la esfera delimitada por el círculo HT es la que mueve la esfera externa de Saturno [52]. Si AC y CF coinciden en F y CF y FH lo hacen con C y D, entonces se mueve de este a oeste alrededor de los puntos fijos AB. Los otros puntos, en la medida en que [no] se encuentran sobre el eje AB, se mueven de la misma forma mencionada, de manera que los puntos CD, así como la esfe-

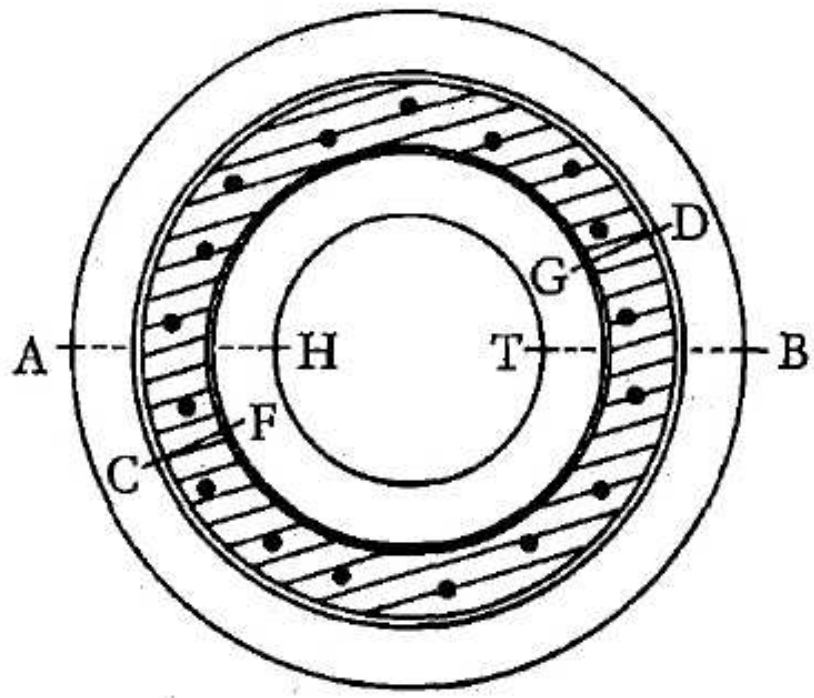


Fig. A.—*El sistema de las estrellas fijas.*

ra contigua que pertenece al sistema de las estrellas fijas, es decir, FC, se mueven del mismo modo. La esfera FC se mueve sobre el eje CD en contraposición al movimiento de AB hacia el este; FH se mueve en la misma dirección y con igual movimiento, sin que conserve, sin embargo, la orientación de AC, lo cual es necesario porque movería la esfera externa de Saturno al estar FH contigua a ella; si el movimiento de FH fuera a la par con el movimiento de la esfera CF, debería ser diferente aunque de igual velocidad, ya que de este modo no sólo los puntos CD y FG de la esfera exterior estarían sobre una misma línea, el eje de la eclíptica, sino que AB y HT estarían en la misma línea, que es el eje del ecuador. Por tanto, resulta

[52] Esto es, dentro del círculo HT encaja el sistema de Saturno. En todos los sistemas, el círculo interno sirve de nido del sistema de la siguiente estrella.

evidente que todo lo que estuviera en la esfera AC y todo lo que hubiera en la esfera FH ocuparía una misma posición.

Que las esferas giran sobre sí y unas con respecto a otras es una suposición innecesaria en estas relaciones; es decir, si los polos de las dos esferas se encuentran sobre un mismo eje, será evidente lo que expondré a continuación de modo más preciso: si los polos de la esfera FH no estuvieran situados sobre FG, sino sobre otros de los puntos móviles de la esfera CF, entonces tanto ella como sus polos deberían moverse con la esfera CF y sería necesario el movimiento que se produce por giro; pero si los puntos F y G están fijos, entonces es imposible que la esfera FH se mueva con la esfera CF y que su movimiento sea similar, ya que si la esfera CF —contigua a AC— se detuviera y los puntos fijos F y G fueran comunes a ambas esferas, eso equivaldría a que el eje que pasa por CF y GD estuviese unido a las dos esferas que se encuentran en los bordes, pero [a la vez] éstas estuvieran sueltas y libres con respecto a la esfera central, por lo que esas dos esferas tendrían siempre la misma posición, mientras que esta [esfera] central, con respecto a aquellas dos, realizaría un movimiento opuesto. Como punto inicial, habría que oenominar a estas dos esferas 'fijas' en vez de 'giratorias' [53].

En la configuración total de las esferas tenemos una esfera cuya situación, en esta circunstancia, es ésta, es decir, es la primera esfera exterior de las que giran unas con respecto a otras; también es conveniente que esta esfera esté situada de acuerdo con la segunda de las formas de consideración ya mencionadas; sin embargo, no es como la que gira, sino [como] la que se encuentra fuera de ella. Aquí la esfera FC está unida a la esfera AC, y, según lo afirmado sobre las esferas completas, las esferas que se mueven son tres: esta primera esfera, la esfera de las estrellas fijas y [en tercer lugar]

[53] Obsérvese cómo se utiliza el mismo término, 'esfera' *(falak)*, en diversos sentidos: para referirse a una esfera propiamente dicha, a capas delimitadas por círculos (ya sean éstos paralelos entre sí, o formen una especie de media luna) e incluso al sistema compuesto por varios cuerpos que determinan el movimiento de cada estrella. Como en el contexto y con las figuras que hemos incorporado queda claro en qué sentido se utiliza en cada momento, hemos creído conveniente conservar la traducción literal de *falak*.

la segunda de las esferas móviles, que también se encuentra separada y comprende el sistema de Saturno [54].

Por lo que se refiere a las piezas serradas [55], las dos esferas citadas permanecen como antes y la tercera es común al éter, que rodea totalmente la esfera de las estrellas fijas y también rodea y envuelve a todas las restantes esferas. Por esta razón, si [alguien] no quisiera denominar a la primera sustancia 'éter', sino sustancia única en sí, sería preciso que el nombre 'cielo' correspondiera a la esfera que rodea las estrellas fijas que se muestran con mucha luz. Por lo que se refiere a los otros cuerpos, o bien no son capaces de efectuar algo de esto, o bien pueden hacer una sola cosa, si en ellos se encuentra una sola estrella.

El modelo de Saturno

Respecto a esas cosas, basta con lo que hemos dicho. A continuación explicaremos lo necesario para la colocación y situación de las esferas de Saturno. En torno a A, centro de la eclíptica, se encuentra la esfera estable de las que se mueven, es decir, la definida por el círculo BΓ, como si el 'motor' estuviese a su alrededor abarcándola; si lo trasladásemos de su sitio máximo y lo situásemos en la parte exterior de lo que hay debajo, entonces pasaríamos por el punto A, en el plano de la eclíptica, la línea BΓ; e igualmente alrededor del plano del círculo inclinado que rodea la Tierra y encima del centro del círculo excéntrico, Z, alrededor del que se mueve el epiciclo, está el punto F y el centro de la esfera del epiciclo H; dibujemos sobre el centro dos círculos E y K y tracemos en el plano del círculo inclinado la línea NΞ sobre el centro Z; dibujemos las figuras que rodean los epiciclos y que son *ns* y *bg* [56] y dibujemos alrededor del centro A el círculo LY que delimita [el sistema] que está debajo [57].

---

[54] Esto es, las esferas o capas AC, CF y FH. Es en la segunda, CF, donde se hallan las estrellas fijas.

[55] En oscuro, en la figura de la reproducción del manuscrito en la p. 50.

[56] El epiciclo aparece dibujado con más detalle en la figura C.

[57] Esto es, el sistema de Júpiter.

Imaginemos, por otro lado, los puntos BΓ y LY sobre el eje que pasa por el punto A, el eje de la eclíptica; pensemos los puntos N, I, Q, Ξ sobre el eje que pasa por el punto Z que es el eje del movimiento de la eclíptica respecto al centro giratorio. Por otro lado, imaginemos los puntos F y A sobre el eje que pasa por el centro Z, perpendicular a NΞ; supongamos que el punto π es la estrella y las líneas que determinan la relación específica de la estrella son AF y FΠ y la línea que une el punto Z con el centro de la estrella. Queda claro, según lo que hemos supuesto en primera lugar, que la esfera que rodea el círculo BΓ cuando se mueve de este a oeste también

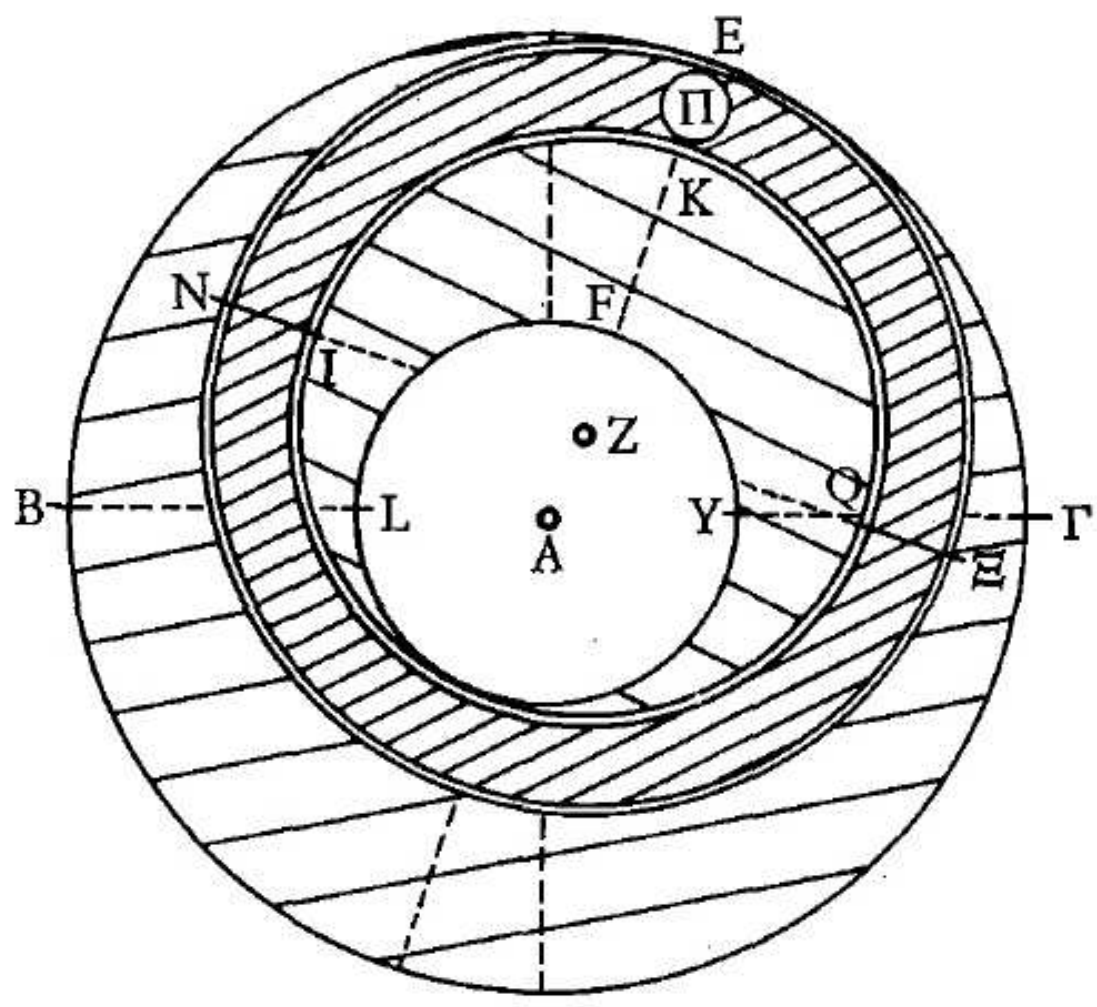


FIG. B.—*Venus y los planetas exteriores.*

mueve la esfera delimitada por los círculos BΓ y NΞ, es decir, la primera esfera de Saturno [58]; como este movimiento 'giratorio' se realiza alrededor del eje del ecuador, y los polos de la esfera están sobre el eje de la eclíptica, [entonces] la esfera BN si se mueve por estar próxima a la esfera que se mueve de oeste a este con el movimiento del apogeo del círculo excéntrico, se mueve también con la

[58] En realidad es una capa delimitada por superficies esféricas (véase nota 53 *supra*).

esfera que está rodeada por los círculos NΞ e IQ; pero como aquí hay otros dos polos, es decir, NΞ, que se encuentran sobre el eje que es igual al eje que pasa por NZΞ, entonces se mueve hacia el este, igual que el movimiento del epiciclo. Sin embargo, la esfera delimitada por los círculos IQ y LY [59] no se mueve con el movimiento de la esfera NI, sino que conserva la posición que tiene BN porque los polos de la esfera NI son NΞ e IQ y los de la pieza IL son IQ, y están en el mismo eje; con la esfera NI se mueve también la esfera rodeada por LY, porque los polos de la esfera NI, esto es, IQ, no coinciden con los de LY sobre el mismo eje. Si [entonces] la esfera rodeada por LY gira sobre los puntos del eje principal sobre el cual están BΓ, de este a oeste y en la misma cantidad en la que se mueve de oeste a este la pieza BN, que se mueve según el motor, entonces la esfera que rodea el círculo BΓ tiene la misma posición que la que rodea al círculo LY, esto es, la esfera IL, que es la segunda de las esferas móviles y pertenece a las esferas de Saturno. Por tanto, la esfera rodeada por LY es la tercera de las esferas móviles y pertenece a las esferas de Júpiter.

Por lo que se refiere a los epiciclos, la esfera en la que se halla el epiciclo viene delimitada por los círculos E y K, es hueca y se mueve sobre el eje NΞ con un movimiento equivalente al de la esfera que la rodea, es decir, BN, sólo que se mueve en sentido opuesto, porque mueve la pieza próxima al apogeo hacia el oeste y la próxima al perigeo hacia el este; la esfera que está rodeada por el círculo *ns* está en relación con la estrella que está en Π y que es movida por la esfera *bg* en el sentido en que se mueve ella misma, porque sus polos no están sobre el eje de aquélla, y se mueve con la estrella en una dirección contrapuesta sobre el eje βγ, es decir, mueve la pieza próxima al apogeo hacia el este y la pieza próxima al perigeo hacia el oeste [60].

Todos los movimientos de las esferas rodeantes y de la estrella misma hacen que para nosotros las esferas de Saturno sean cinco, tres

---

[59] Esto es, otra 'capa esférica'. Como gracias a las figuras se puede ver cuando estas 'capas' son esféricas, medias lunas, etc., omitiremos desde ahora todo comentario.

[60] Véase la figura C.

de ellas son las esferas que rodean la Tierra, es decir, la esfera de BΓ, que es de similar colocación a la eclíptica porque gira alrededor de su eje; la esfera NΞ, que no es de similar colocación a la eclíptica, porque no gira sobre su centro ni alrededor de un eje paralelo al suyo. La esfera IQ, cuya colocación siempre corresponde a la de la esfera BN, por lo que la tercera esfera móvil conserva la situación de la primera de las esferas móviles; no conviene que contemos las esferas que se mueven con las esferas que separan sus espacios, porque no son específicas de ellas, y menos necesitamos contarlas dos veces; no necesitamos hacer esto con ellas porque rodean y son rodeadas, lo que también ocurre en otras esferas, no porque antecedan a algunas estrellas y [queden] detrás de otras, sino porque cada una de ellas

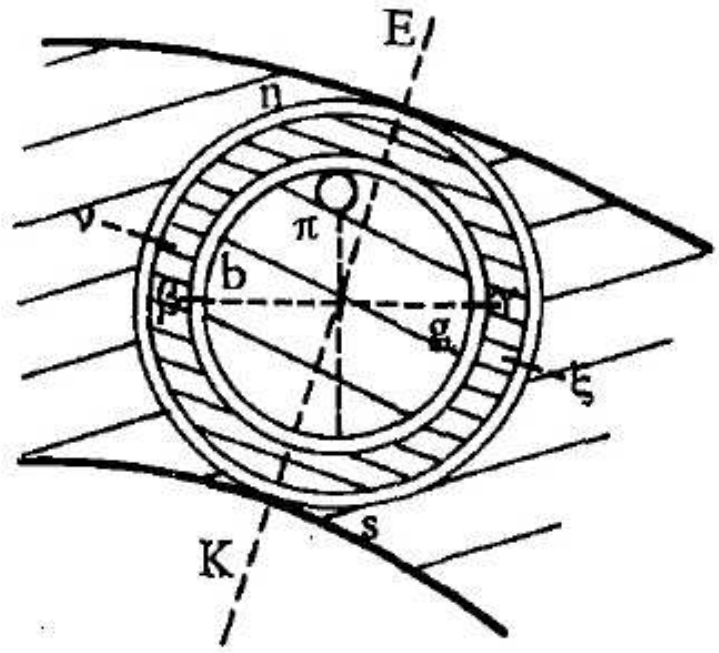


Fig. C.—*Detalle del epiciclo.*

es única en [cuanto] a número y tipo. Por lo que se refiere a la fuerza, todas son uno [61]. Por otro lado, tenemos las dos esferas de los epiciclos: la esfera del epiciclo, *ns,* que es hueca y no tiene inclinación porque su eje νξ es paralelo al eje NΞ, y la esfera que está rodeada por ésta, *bg,* la que soporta la estrella y está inclinada con respecto a la primera, porque su eje βγ no es paralelo al eje NΞ.

Con respecto a la posición de las piezas serradas, imaginemos que alrededor del círculo BΓ, y bajo el círculo LY, se encuentra la esfera

[61] Es decir, en las esferas, capas esféricas o piezas serradas, la parte interna de una de ellas es la externa de la interior, y viceversa. Por eso, y por simplicidad, no se consideran como dos caras, sino como una sola.

del éter, e imaginemos que gracias a su rotación mueve de este a oeste los trozos esféricos que rodea. La primera pieza serrada en este lugar pertenece a la esfera contenida por los círculos BΓ y NΞ; dicha pieza se toma de lo que se encuentra entre BΓ y su [pieza] opuesta según la situación en que se encuentre, pero que sea vertical al eje BΓ, que es el eje de la eclíptica. La segunda pieza se recorta de la esfera contenida entre los círculos NΞ e IQ, en el lugar en que están K y E y su [pieza] opuesta según su situación, perpendicularmente al eje NΞ, y de forma que esté rodeada totalmente por la primera pieza serrada. Por otro lado, [supongamos] que haya una tercera pieza serrada en su interior, que pertenezca a la esfera hueca del epiciclo, contenida entre los círculos *ns* y *bg*; también su posición se halla entre E y K, perpendicular al eje NΞ. Por último, hay una cuarta pieza serrada que está rodeada totalmente por la pieza mencionada [anteriormente]; dicha pieza es un trozo de la esfera, maciza, que mueve la estrella π y se mueve perpendicularmente al eje BΓ.

Así, pues, tenemos cuatro piezas serradas, tres de ellas parecen ruedas y la última es similar a un tambor. Debemos imaginar el movimiento de cada una de ellas según los que se dan en las esferas a las que pertenecen, y debemos determinar ambos lados de sus superficies medias en función de lo que baste para rodear los trozos encerrados en ellas, ya sean las piezas paralelas al eje de la eclíptica o estén inclinadas con respecto a él, por lo que esas piezas, junto con aquellas que las rodean y se mueven con el movimiento giratorio, se tocarán en la parte exterior del éter; el límite de su anchura es para la forma de tambor pequeño, en el caso de *n* y *s*, según la medida de la magnitud que es rodeada por él, o bien en lo que los rodea, cerca de EK, según la medida de la magnitud de la inclinación del tambor.

Por otro lado, el límite del trozo que lo rodea, es decir, lo que hay entre N e I, proporciona la magnitud de esta inclinación, ya que la posición de estos dos trozos es paralela y se da en un mismo plano, en el que está el centro de ambos. El límite del trozo exterior del conjunto, es decir, lo que hay entre B y N, da la medida de la inclinación de su pieza serrada. Ya ha quedado demostrado que si la

estrella no se mueve en una esfera ni en una pieza serrada sobra uno de los cuerpos supuestos para esta estrella, esto es, el contiguo al círculo LY, que es opuesto en su movimiento al del primer epiciclo. O tal vez podría ser más conveniente para nosotros aceptar otra opinión según la cual podríamos suponer [según lo que hemos afirmado para los otros cuerpos] que también la estrella está rodeada en su lugar lo mismo que cada uno de aquellos otros cuerpos, pero no en un [mismo] sitio que corresponda a otro próximo, como si estuviesen rodando o se impulsaran de forma similar a lo que opone unas a otras, ya que los movimientos que se realizan de esta forma indican que el inicio de su movimiento [procede] forzosamente de otra cosa. El giro se produce desde el límite del movimiento eterno que se realiza alrededor de [un] centro. Por tanto, sería más apropiado [decir] que cada una de las estrellas mueve también algo, aunque esto sea la fuerza y el efecto de la estrella en su posición específica y sobre su centro, es decir, el movimiento giratorio continuo; es necesario que el inicio del problema se dé en la estrella, que lo realiza a través de los cuerpos que la rodean.

Extensión del modelo de Saturno a Júpiter, Marte y Venus

Ya hemos expuesto la situación de las [piezas y esferas] mencionadas en la estrella de Saturno; conviene establecer y decir que esta misma situación y ordenación se da en las esferas y piezas de Júpiter, Marte y Venus; no obstante, omitiremos mencionar lo que se refiere a las relaciones específicas de cada una de ellas, ya que han sido expuestas en otro lugar, por lo que tan sólo mencionaremos cuestiones generales.

Resulta adecuado decir que las esferas y las piezas serradas que se parecen al cuerpo BN tienen siempre su centro en el punto A; con ello no se determina la uniformidad del movimiento[59] ni la in-

[62] Ptolomeo insiste en que el planeta se mueve uniformemente, aunque esta uniformidad se dé con respecto al ecuante en vez de con respecto a la Tierra (en todos los modelos representada por A).

clinación del epiciclo, sino que, como hemos dicho y demostrado con respecto a las esferas, aquello ocurre en un punto sobre A, F, equidistante de A y Z, y si el centro del epiciclo está en el punto norte de la inclinación del círculo que rodea la Tierra, entonces el punto norte de la inclinación respecto al epiciclo en Saturno, Júpiter y Marte se halla en el perigeo del epiciclo; en Venus y Mercurio se encuentra en un punto cuya distancia al apogeo del epiciclo, hacia el este, es de 90°, es decir, un cuadrante.

Modelo del Sol

A continuación pasemos a hablar del Sol y de su situación de la siguiente forma: tracemos sobre A, centro de la eclíptica, los dos círculos BΓ y DH, así como una línea, NΠ, vertical al plano de la eclíptica y en ella imaginemos el punto Z como centro del círculo excéntrico del Sol; dibujemos alrededor de este centro los círculos ΘK y LM; entre ellos, y alrededor del centro S [63], tracemos el círculo NΞ del Sol; si imaginamos que BΓ es el límite inferior del motor del Sol, que es el quinto a partir del primer motor [esfera móvil], la

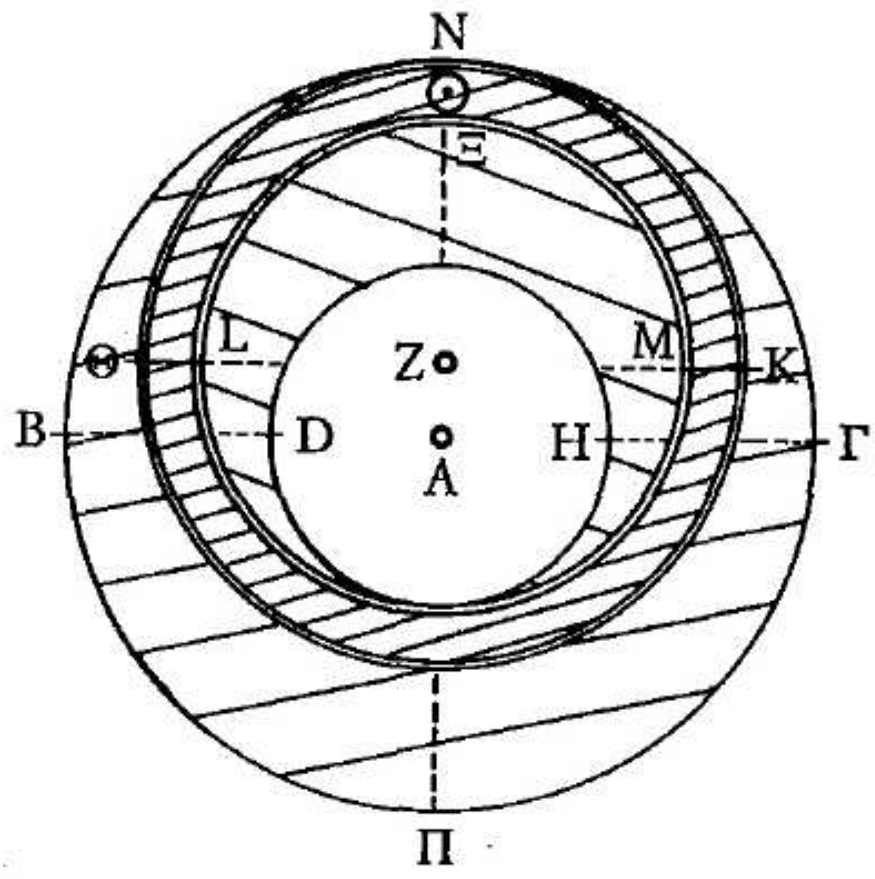


FIG. D.—*El sistema de esferas del Sol.*

[63] El centro del Sol.

esfera que incluye el círculo DH es el motor de Venus, es decir, el sexto a partir del primero. Si, por otro lado, colocamos los puntos BΓ sobre el eje de la eclíptica que pasa por el punto A y situamos Θ, L, M y K sobre el eje del círculo excéntrico que pasa por el punto Z, paralelo al eje de la eclíptica, entonces A es a Z como Z es a S. Ahora la esfera BΘ se mueve de este a oeste y con ella lo hace ΘK, porque BΘ se mueve sobre el eje del ecuador mientras que ΘK lo hace sobre un eje paralelo al de la eclíptica. Si este movimiento se produce en sentido opuesto y el Sol realiza su movimiento específico de oeste a este, es decir, sobre el eje que pasa por ΘK y LM, entonces la esfera LD permanece en conjunción con la esfera BΘ porque sus dos polos LM y ΘK se hallan sobre un mismo eje, el de la esfera ΘL, por lo que la posición de LD es como la de BΘ y como la de la primera de las esferas móviles [64]. El problema de la posición de las piezas serradas es semejante, ya que BΘ y LD se suponen contiguas a las esferas de éter, y se mueven con el éter y en conjunción con el trozo de esfera que lo rodea, de este a oeste; aquí toda la esfera es una misma y el trozo pertenece a la esfera delimitada por los círculos KΘ y LM; tomándolo entre N y Ξ, [cuando es] perpendicular al eje BΓ, el eje de la eclíptica, su anchura es igual a la cantidad del volumen del cuerpo solar que rodea.

Modelo de Mercurio

Con respecto a las esferas de Mercurio, consideremos que la séptima de las esferas móviles está limitada por el círculo BΓ, trazado alrededor del centro A; pasemos por dicho punto A la líneaΔA en el plano de la eclíptica y también pasemos por dicho punto la línea EA en el plano del deferente que rodea la Tierra; en ella marquemos el centro del círculo excéntrico, que se mueve alrededor del centro Z, que es el centro de las esferas del epiciclo cuyo centro sea el punto C. Si trazamos alrededor del centro Z los dos círculos NΞ y KL, obtenemos el plano del epiciclo inclinado en el que se mueve la estrella que está en él; tracemos sobre el centro C los dos círculos que

[64] El motor de las fijas.

rodean las esferas de los epiciclos, es decir, *ns* y *bg*, y alrededor del centro H dibujemos dos círculos que rodeen los anteriormente citados, esto es, ΣT y MR. Además tracemos el círculo DV sobre el centro A, que es el que se encuentra debajo de todos los círculos citados. Imaginemos los puntos BD y VΓ sobre el eje de la eclíptica y los puntos Σ, M, R y T sobre el eje del deferente que rodea la Tie-

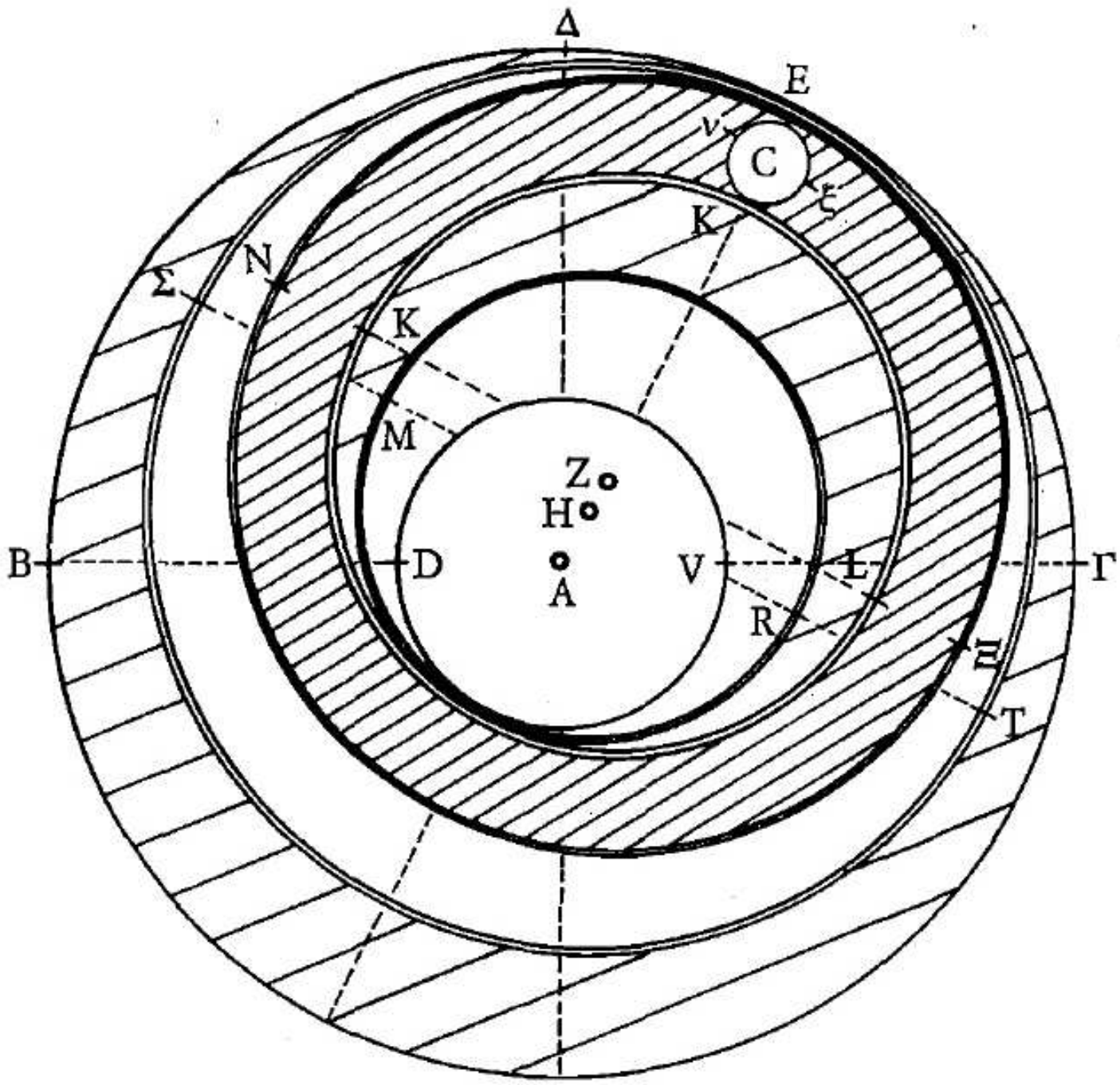


Fig. E.—*El sistema de esferas de Mercurio.*

rra y que pasa por el punto H; [imaginemos] también que los puntos NK y LΞ están sobre el eje del círculo excéntrico que pasa por el punto Z y es paralelo al eje que pasa por el punto H. Suponemos los puntos CK pertenecientes a los puntos que están en el epiciclo sobre el eje que pasa por Z, perpendicular a NΞ, y hagamos lo mismo con los puntos *ns* sobre el eje que pasa por C perpendicular a

νξ [65]. Finalmente, consideremos que las relaciones propias de la estrella vienen dadas por las líneas AH, HZ y Cn y la línea que sale del punto C hacia el centro de la estrella. Por estas razones, la esfera delimitada por el círculo BΓ si mueve lo que rodea de este a oeste, entonces la esfera ΣN se mueve hacia lo que la antecede, es decir, hacia el este, y, de igual forma, es el movimiento del apogeo, y esta esfera se mueve hacia lo que la antecede, es decir, hacia el oeste sobre el eje ΣT, como el movimiento del epiciclo, moviéndose NK con ella, según polos diferentes. Por lo que se refiere a NK, se mueve de forma opuesta a esta esfera, hacia el este sobre el eje KL de la misma forma que se mueve KN con aumento del movimiento que es igual a este movimiento que realiza KN, es decir, el doble del movimiento uniforme.

La inclinación del epiciclo no va dirigida [hacia el punto Z, centro del círculo excéntrico, sino] hacia H; la esfera NK no se mueve, por su movimiento, con la esfera ΣN, aunque sus dos ejes se unan, no obstante ΣN permanece en una posición en la que está en conjunción con la posición de NK.

La esfera KM, que está unida a la esfera MD, se mueve siempre con ella hacia el este, igual que ΣN, pero también hacia el oeste, sobre el mismo eje que pasa por NK y mantiene [siempre] a la esfera KM en la misma posición que la esfera ΣN. De la misma forma se mueve la esfera que incluye al círculo DV, hacia el oeste, sobre el eje DV que pasa por BΓ, por lo que esta esfera ocupa la misma posición que la de la esfera que contiene el círculo BΓ, que es la séptima de las esferas móviles. Por tanto, esta esfera es la octava de las esferas móviles. En la esfera que lleva el epiciclo sucede lo mismo que ya hemos mencionado. La esfera que está incluida en los círculos NΞ y KL, que es hueca, se mueve sobre el eje EH con la esfera que contiene el epiciclo y lo hace con igual movimiento, es decir, en la dirección en la cual se encuentra su apogeo hacia el oeste, y en aquella que se encuentra su perigeo hacia el este.

La esfera que rodea el círculo *bg* [66], contigua a la estrella que está en el punto π, es movida por la esfera *ns* a causa de la diversidad de

[65] En la esfera del epiciclo (véase la fig. C).
[66] Véase la fig. C.

sus polos, y [esta última] se mueve en sentido opuesto a la estrella, ya que el trozo que sigue al apogeo se mueve hacia el este sobre el eje que pasa por los puntos νξ, de igual forma que la esfera que la rodea, junto con la de la estrella.

Tenemos en Mercurio siete esferas, cinco de ellas son las que rodean la Tierra y están colocadas uniformemente porque se mueven sobre el eje de la eclíptica; dos son NK y KM, que no son de similar ordenación porque sus ejes, aunque sean paralelos [entre sí], no pasan por el centro de la eclíptica ni son paralelos a su eje. Las otras tres son la BΣ, que está en conjunción con la esfera ΣN, y la esfera MD, que está en conjunción con BΓ. [Finalmente] dos esferas para los epiciclos, es decir, la esfera *ns* hueca que no está inclinada, ya que su eje [que pasa por el punto EK] es paralelo al eje del deferente que rodea la Tierra, y la esfera que rodea a ésta y que mueve la estrella, pero cuya inclinación es distinta a la suya, porque el eje de ésta no es paralelo al eje del deferente ya citado.

En la posición de las piezas serradas imaginemos la esfera del éter siempre unida alrededor de ellos en torno al círculo BΓ y bajo el círculo DV, y que esta [esfera] haga girar los trozos encerrados por la citada esfera del éter en el sentido este-oeste. La primera de las piezas serradas que hay en este lugar es la pieza extraída de la esfera hueca que incluye los círculos BΓ y ΣT, es decir, que engloba lo que hay entre BD y [la parte] que le corresponde, perpendicular al eje que pasa por BΓ. La segunda pieza, que viene después, está totalmente dentro de la primera, extraída de la esfera hueca que incluye los círculos ΣT y MR: lo que hay entre Σ y M [la parte] correspondiente, también es perpendicular al eje que pasa por los puntos ΣT. El tercer trozo serrado que sigue se encuentra totalmente dentro del segundo y es extraído de la esfera hueca que rodea los círculos NΞ y KL: lo que hay entre HZ y [la parte] que le corresponde es perpendicular al eje que pasa por los puntos NΞ.

La cuarta pieza serrada se encuentra en su totalidad dentro de la tercera, es decir, es la pieza extraída del epiciclo hueco que engloba los círculos *ns* y *bg*, en el borde del círculo *ns* que lo rodea, y es perpendicular al eje que pasa por los puntos νξ.

El quinto trozo serrado también se encuentra totalmente dentro del cuarto y pertenece a la esfera contigua a la estrella que lo mueve, es decir, la que rodea al círculo *bg*, se encuentra entre *bg* y es perpendicular al eje que pasa por los puntos βγ.

Según esta forma de considerar la posición, tenemos cinco piezas, de las que cuatro se parecen a ruedas y una a un tambor, si es que se suponen los movimientos de cada una de las piezas serradas similares a los de las esferas (de las que estas piezas constituyen sectores) por lo que se refiere a la dirección, denominación y uniformidad de movimiento, como hemos mencionado en las esferas, y [con relación] a la anchura a ambos lados de los planos; y eso en cada una de las dos formas de consideración (como hemos demostrado en la parte anterior).

El modelo de la Luna

Sólo nos falta exponer la situación de estas cosas en la Luna. Imaginemos la situación de la octava esfera móvil alrededor del punto A, centro de la eclíptica, que es la esfera limitada por el círculo BΓ; pasemos por el punto A, y en el plano de la eclíptica, la línea AD, y en el plano del deferente la línea EA, y marquemos sobre ésta el centro del círculo excéntrico, es decir Z, y el centro de la esfera del epiciclo, es decir, C; sobre el centro C tracemos el epiciclo. Imaginemos la Luna sobre el punto *o* y alrededor de Z tracemos los círculos NΞ y KF que rodean el epiciclo; alrededor del centro A coloquemos los dos círculos que encierran a estos dos [últimos], es decir, ΣT y JM. Imaginemos ahora los dos puntos B y Γ sobre el eje de la eclíptica [que pasa] por el punto A; supongamos [también] los puntos Σ y T sobre el eje del deferente que pasa por A y hagamos lo mismo con los puntos NΞ y KF sobre el eje del círculo excéntrico que pasa por Z y que es paralelo al del deferente. Las relaciones propias de la Luna se pueden determinar mediante las líneas AZ y ZC y la línea que va de C al centro de la Luna.

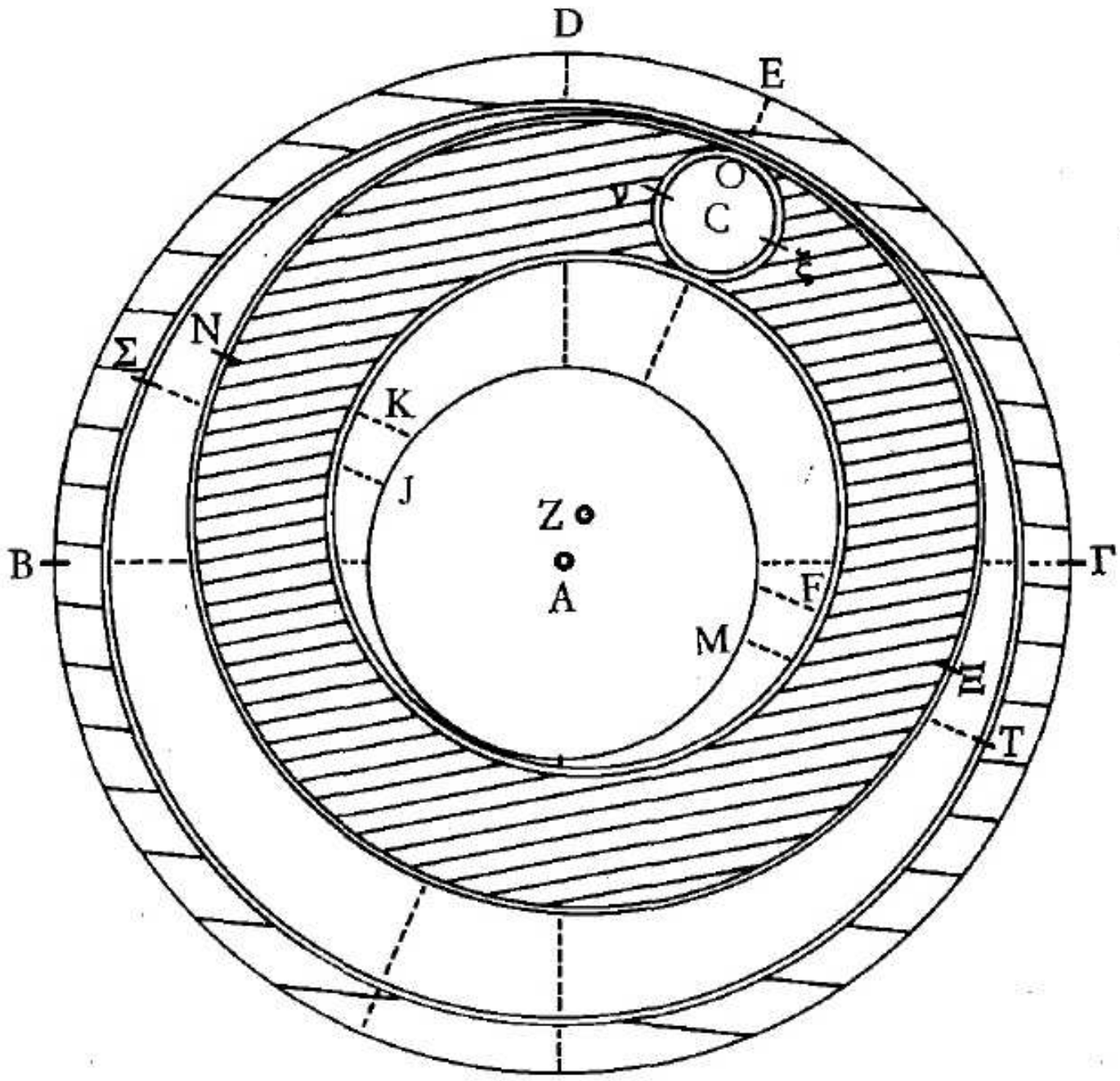


FIG. F.—*El sistema de esferas de la Luna.*

La esfera delimitada por el círculo BΓ mueve lo que la rodea de este a oeste, con un movimiento similar al del primer motor, mueve con ella la esfera ΣN hacia el oeste sobre el eje de la eclíptica que pasa por BΓ y se diferencia de [la eclíptica] por la cuantía del nodo; con ella se mueve la esfera NK, pero sobre distinto eje. Dicha esfera NK se mueve hacia el oeste, sobre el eje que pasa por los puntos NΞ, según el movimiento del apogeo del círculo excéntrico del nodo, y mueve con ella la esfera, pero sobre diverso eje, y también se mueve hacia el este sobre el eje que pasa por FK, según el movimiento del centro del epiciclo, desde el apogeo del círculo excéntrico. Con ella se mueve la esfera *ns* del epiciclo, y éste se mueve con la Luna desde la posición del apogeo, sobre el eje KZ, con igual movimiento que la Luna, por lo que el apogeo se desplaza hacia el oeste y el perigeo hacia el este. [Sin embargo], no gira con ella el éter, que está debajo de la esfera KJ, porque no es necesario que los polos de

dicha esfera, que están en los puntos JM, estén contiguos a ella. Aquí no necesitamos que las esferas giren, porque la esfera del aire toca al éter en el círculo JM, y aquí se produce la uniformidad del movimiento de la esfera KJ. La inclinación del epiciclo no se produce similares a anillos y una lo es a un tambor. El comportamiento de los movimientos en los cuerpos, según las dos formas de consideración, no varía.

El número total de esferas es de cuarenta y una, de las cuales ocho son los motores; hay una para las estrellas fijas, otra para el sistema del Sol y cuatro para el de la Luna [67]; hay cinco esferas para cada una de las estrellas de Saturno, Júpiter, Marte y Venus. En cada una de las esferas de las estrellas hay una esfera en conjunción y otra que se mueve en sentido opuesto. Mercurio tiene siete esferas, una de ellas en conjunción, y se mueve en sentido opuesto.

Según la segunda forma de situación, el número total de cuerpos es de veintinueve, de los cuales tres son esferas huecas, es decir, la esfera que mueve el sistema de las estrellas fijas, aquella en la que se hallan las estrellas fijas y la esfera del éter y veintiséis piezas serradas de esferas. El Sol también tiene una pieza serrada, la Luna cuatro, Saturno, Júpiter, Marte y Venus tienen cuatro cada uno y Mercurio cinco.

Si suponemos que las estrellas se mueven por sí solas y no merced a otros cuerpos, habrá que eliminar un cuerpo de cada planeta en cada forma de consideración [68], por lo que se eliminarán siete del total. Y así, según la primera forma hay treinta y cuatro esferas y según la segunda hay tres esferas y diecinueve piezas serradas, siendo veintidós el número total de cuerpos y sin que aparezca ningún hecho que lo contradiga.

Si pensamos en la segunda forma, los cuerpos que engloban los movimientos [no] son similares a un disco, sino parecidos a pulseras o medias lunas. Si además también imaginamos que los cuerpos giratorios son los mayores y engloban a los más pequeños totalmente, entonces su situación no sólo es paralela, sino que puede ser

---

[67] Sorprendentemente, aquí sólo se asigna una esfera al Sol, por lo que el número total de esferas resulta ser cuarenta y uno.

[68] Esto es, según el sistema de esferas y según el de las piezas serradas.

excéntrica o inclinada, como ya hemos dicho. Elegiremos uno de esos casos naturalmente, bien por la similitud con los discos (porque rodean trozos esféricos, aunque los [trozos del] lado profundo no son redondos en todas partes), o bien por la similitud con las pulseras, sobre el punto Z, que es el centro de la figura de esta esfera, sino en el punto A, como ocurre en otros casos generalmente.

En la Luna tenemos cuatro esferas, tres de las cuales rodean la Tierra y pasan por los puntos BΓ con igual movimiento que el apogeo del círculo excéntrico del nodo y con ellas se mueve la esfera ΣΤ alrededor de otros polos; la esfera ΣN es de similar colocación, ya que se mueve sobre el eje de la eclíptica; luego la esfera NK que está inclinada, ya que se mueve alrededor del centro de la eclíptica, pero no sobre su eje; y [finalmente la tercera] esfera, KJ, que no está colocada similarmente, ya que no se mueve alrededor del centro de la eclíptica ni sobre un eje paralelo a su eje; [por último la cuarta] esfera, la del epiciclo, que es maciza y no está inclinada, ya que no corresponde a la Luna ninguna inclinación debido a ello.

Con respecto a la situación de las piezas serradas, imaginemos que alrededor del círculo BΓ está la esfera del éter, que pasa hasta el círculo JM, y que se une con el aire, como hemos dicho. La primera de las piezas cortadas que rodea esta esfera y gira con ella es la pieza de la esfera hueca englobada por los círculos BΓ y JM, esta pieza no está rodeada por ello en lo que hay entre Γ y M y la parte correspondiente, siendo perpendicular al eje que pasa por BΓ.

La segunda pieza se encuentra totalmente dentro del primer trozo de esfera, pertenece a la esfera hueca que rodean los círculos ΣK; el círculo que se dibuja sobre su centro es mayor que el círculo JM, y se mueve como el círculo ΣΤ. También este trozo se encuentra entre A y E y su parte correspondiente, perpendicular al eje que pasa por los puntos NZ.

El tercer trozo cortado es rodeado totalmente por el segundo y es extraído de la esfera hueca que rodean los círculos NΞ y KF, se encuentra entre AE y la parte correspondiente, siendo perpendicular al eje que pasa por los puntos NZ.

La cuarta pieza serrada se encuentra totalmente dentro de la tercera, es una sección de la esfera que rodea νξ, es decir, la esfera del

epiciclo que se encuentra entre N y K, vertical al eje que pasa por los puntos EZ. Tenemos, según esta forma de considerar la posición, cuatro piezas serradas de las mismas esferas, porque [aquí] no es necesario, como en otra parte, que giren. Tres de estas piezas son ya que las hemos supuesto redondas, incluso aunque no rodeen totalmente las piezas serradas de esferas huecas, sino parte de ellas, de modo similar a los dientes de una trilladora, cuyas formas son semejantes a la curvatura del arco iris, pues en el aire existe gran número de [tales] formas. Con respecto a los cuerpos de los epiciclos que rodean y mueven las mismas estrellas, es posible imaginarlos macizos o huecos y que su interior y la parte que lo envuelve se convierta en una [pieza] adyacente, lo que a veces es posible en las piezas serradas.

Si imaginamos sus formas en el interior parecidas a esferas, e imaginamos sus formas, cuando son macizas, similares a tambores, eso resulta claro. En las formas similares a pulseras esto no es lícito, porque sólo es posible imaginar estas formas huecas y que en su hoquedad no incluyan nada; y ésta es la limitación de estas formas que hemos mencionado, pues hemos empleado diferentes movimientos más simples y menores que los usados por nuestros antecesores, pues cuando nosotros explicamos los orígenes de lo que aparece, queda claro si se compara con lo que ellos dijeron e hicieron. Lo que es preciso decir de nuestra exposición es que se completa con lo que sucede en los movimientos de las estrellas, tanto en fenómenos totales como parciales. Por todo cuanto aparece, podemos imaginar que quien investigue tal problema lo puede entender y reconocer si agrupa las situaciones hipotéticas y las compara con las observaciones que no ofrecen duda. Las valoraciones de lo que investiguen se obtendrá mediante la aplicación de instrumentos y según un método que incluya las tablas que se utilizan en los cánones, de forma que el cálculo de los movimientos equivalentes (que se utilicen en instrumentos semejantes a tambores) resulten fáciles, y no difíciles, para un principiante de la ciencia. Nosotros hemos expuesto en las tablas (que vienen a continuación de este escrito) los movimientos de cada uno de los planetas según las bases y el método que hemos segui-

do [69], y también presentamos el movimiento total en los años totales, es decir, veinticinco cada uno. Se comienza después de la muerte de Alejandro, con días de igual duración que las noches, en años, meses, días y horas. Para el Sol en una sola tabla, para todos los demás cuatro tablas, después de unir las columnas de los años propuestos con nuestro año actual, los meses y los días, igualmente tomamos las horas que han pasado desde el mediodía de nuestro día actual. En el Sol, cuando añadimos la cifra que hay en la columna paralela, encontramos la distancia desde el centro del apogeo de su círculo excéntrico en el sentido de los signos del universo. En la Luna, por adición de las primeras tablas, se determina la distancia del punto norte del deferente respecto al equinoccio vernal en el sentido contrario a los signos del universo. Por la adición de las segundas tablas resulta la distancia del apogeo del círculo excéntrico respecto del punto norte de la esfera inclinada en el sentido contrario a los signos del universo.

Por adición de las terceras tablas se obtiene la distancia del centro del epiciclo desde el apogeo del círculo excéntrico a la inversa del Zodíaco.

Por adición de la cuarta tabla resulta la distancia del centro de la Luna desde el apogeo del epiciclo en el orden inverso del Zodíaco en el arco superior.

Para los cinco planetas el número que resulta de la primera tabla es la distancia del apogeo del círculo excéntrico desde el punto del equinoccio vernal en el sentido de los signos del universo. Por adición de las segundas tablas se obtiene la distancia del centro del epiciclo desde el apogeo del círculo excéntrico en el mismo orden mencionado.

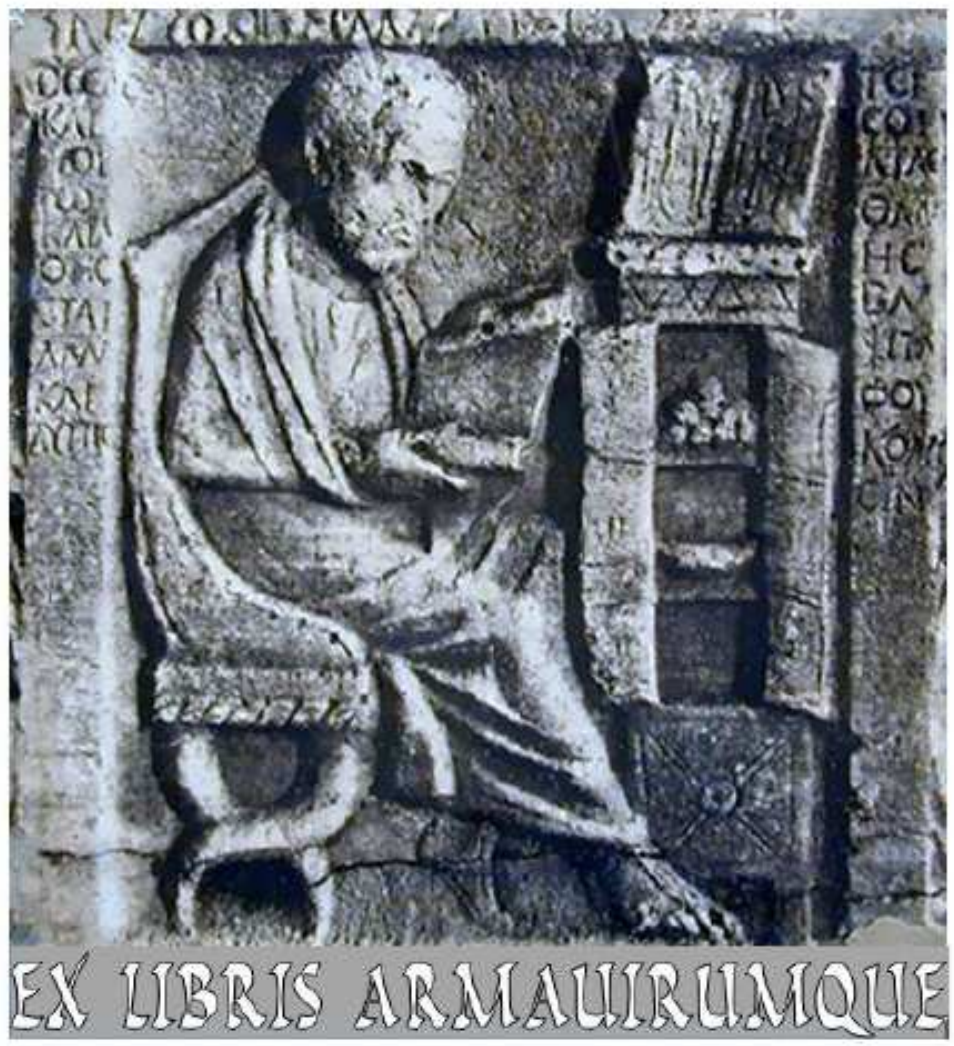
En Mercurio adicionalmente se determina la distancia del círculo excéntrico del apogeo de la excentricidad en el orden contrario a los signos del universo.

---

[69] Estas tablas no aparecen en el manuscrito. Unos autores han considerado que dichas tablas habían sido elaboradas especialmente para las *Hipótesis de los planetas,* pero otros opinan que se refiere a las *Tabulae Manuales.*

En las terceras tablas se obtiene la distancia del punto norte del círculo inclinado respecto del apogeo del epiciclo, en el orden contrario a los signos del universo y sobre el arco superior.

De las cuartas tablas resulta la distancia del centro de la estrella del punto norte de la deferente respecto al epiciclo, en el arco superior, según el orden de los signos del universo.

Final del Tratado segundo del libro de Claudio Ptolomeo sobre astronomía titulado «Exposición del comportamiento total de los planetas».

Gracias sean dadas siempre.
No hay más Señor que El.